Ing. Viorel Maier

MECANICA ŞI CONSTRUCŢIA NAVEI

Volumul I

§

Statica navei

1. Geometria navei

Corpul navei este considerat un solid rigid cu geometrie complexă. Complexitatea geometriei corpului navei este determinată de necesitatea respectării calităţilor nautice.

1.1. Planurile de proiecţie utilizate în geometria navei

Pentru studiul teoretic al geometriei corpului navei se utilizează 3 planuri de proiecţie principale şi un plan de proiecţie auxiliar.

Planul diametral PD este un plan vertical longitudinal care împarte corpul navei în 2 părţi simetrice: bordul babord Bb, situat în partea stângă a planului diametral; bordul tribord Tb, situat în partea dreaptă a planului diametral.

Conturul navei în plan diametral este definit de următoarele linii: linia chilei sau chila navei LK, linia punţii în plan diametral LPD care prezintă o curbură denumită selatura punţii în plan diametral, linia provei sau linia etravei, linia pupei sau linia etamboului.

Planul transversal al cuplului maestru este un plan transversal vertical, care trece prin secţiunea maestră şi împarte corpul navei în două părţi nesimetrice: partea prova Pv şi partea pupa Pp.

Secţiunea maestră sau cuplul maestru este secţiunea transversală de arie maximă a navei.

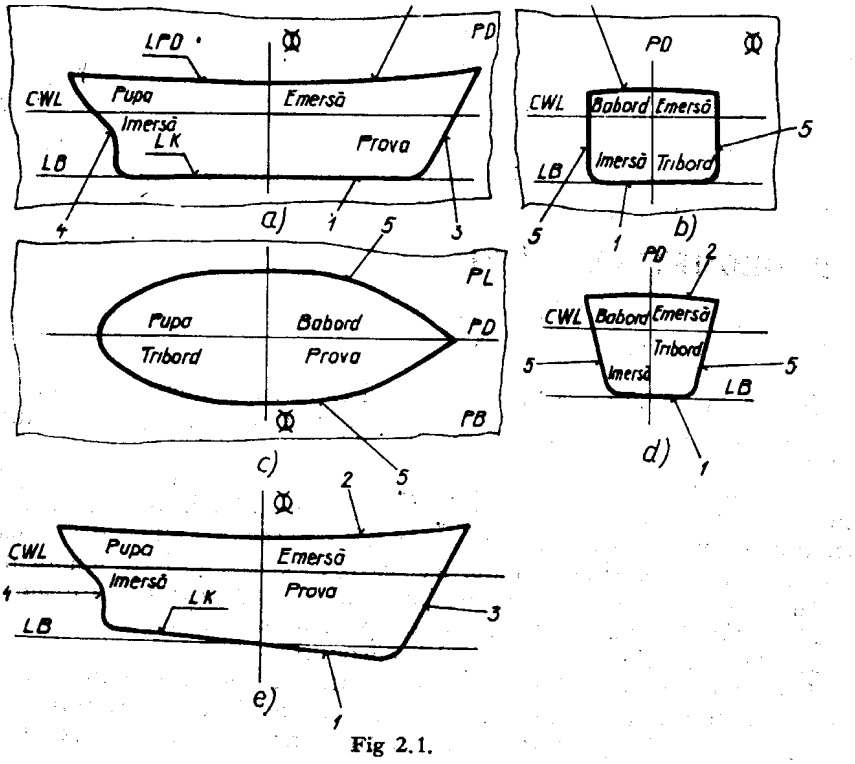


Fig 2.1.

Conturul navei în plan transversal al cuplului maestru este definit de următoarele linii: linia fundului în plan transversal, linia punţii în plan transversal al cuplului maestru, linia bordului în plan transversal.
Planul plutirii PL este un plan orizontal, longitudinal, care coincide cu suprafaţa liberă a apei liniştite şi împarte corpul navei în două parţi nesimetrice: partea imersă sau carena este partea aflată sub apă, partea emersă este partea aflată deasupra apei. Conturul navei în acest plan este definit de liniile bordurilor în planul plutirii.
Planul de proiecţie auxiliar folosit în studiul teoretic al geometriei corpului navei este planul de bază. Planul de bază PB este un plan longitudinal, orizontal, care trece prin punctul obţinut din intersecţia PD, LK şi ¤ (cuplul maestru). 2.1.
1.2. Dimensiunile principale ale navei
Lungimea navei.
Lungimea pe plutirea de plină încărcare sau lungimea teoretică L_{CWL} este distanţa măsurată în PD pe CWL între punctele de intersecţie ale acestei plutiri cu linia etamboului şi linia etravei.
Lungimea între perpendiculare L_{pp} este distanţa măsurată în PD, pe CWL, între punctele de intersecţie ale acestei plutiri cu axul cârmei şi linia etravei.

$$L_{pp} = (0{,}96...0{,}97) \cdot L_{CWL} \qquad [m]$$

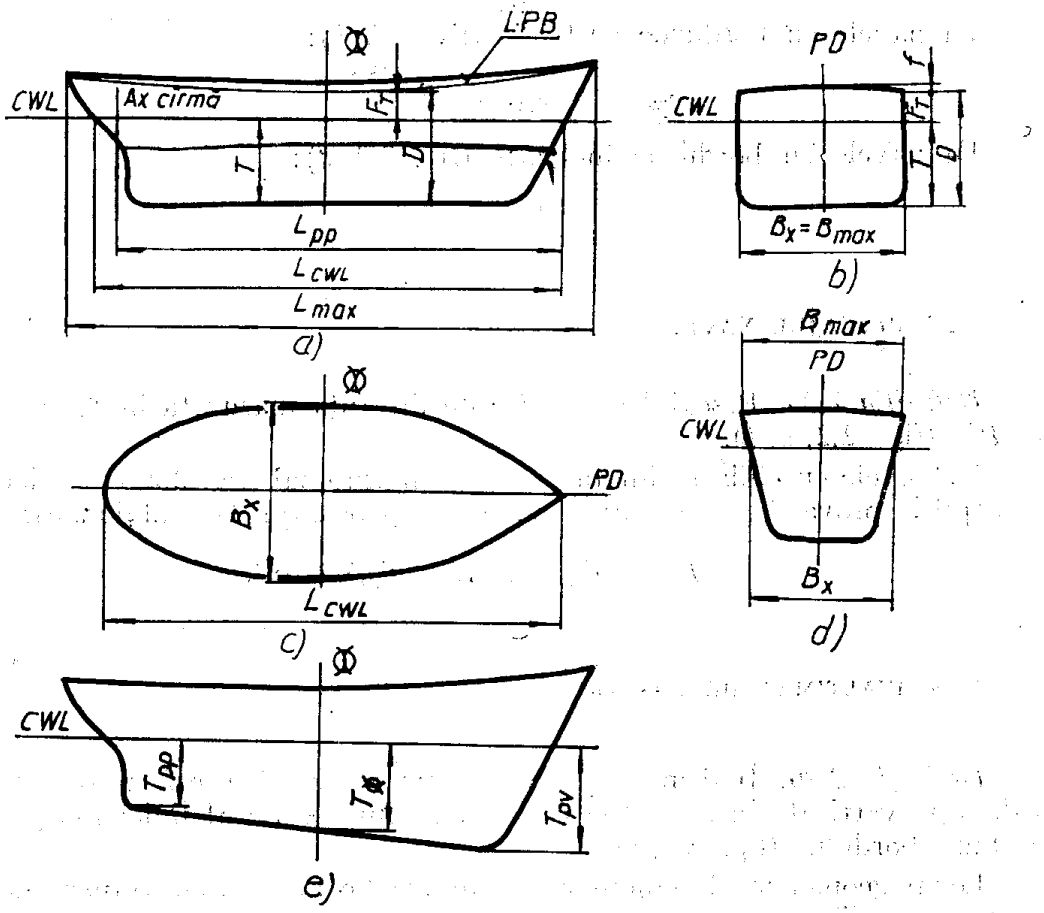


Fig. 2.2

Lungimea de calcul L este valoarea maximă dintre: distanţa măsurată în PD, pe plutirea de încărcare de vară, de la muchia anterioară a etravei până la axul cârmei şi 0,96 din lungimea navei măsurată pe aceeaşi plutire, de la muchia anterioară a etravei

până la extremitatea pupa. Este definită conform prescripţiilor R.N.R. şi se utilizează la dimensionarea elementelor constructive ale navei.
Lungimea maximă $L_{\max}$ este distanţa măsurată în PD după o direcţie orizontală între punctele extreme pupa şi prova ale navei. 2.2.
Lăţimea navei.
Lăţimea teoretică B_x este distanţa măsurată în ¤, pe CWL, între punctele de intersecţie ale acesteia cu liniile bordurilor.
Lăţimea maximă $B_{\max}$ este distanţa măsurată în ¤, după o direcţie orizontală, între punctele de intersecţie ale selaturii punţii în plan transversal cu liniile bordurilor.
La navele cu bordurile verticale $B_{\max} = B_x$.
La navele cu bordurile înclinate $B_{\max} > B_x$.

Pescajul navei.
Pescajul navei T este distanţa măsurată în ¤ între PB şi PL.
La navele cu chila înclinată în plan longitudinal se definesc pescajul la prova T_{pv}, pescajul la pupa T_{pp} şi pescajul la cuplul maestru T¤.

$$T¤ = T_m = (T_{pv} + T_{pp})/2 \qquad [m]$$

Înălţimea de construcţie a navei.
Înălţimea de construcţie D este distanţa măsurată după o direcţie verticală între PB şi punctul de intersecţie al liniei punţii în ¤ cu linia bordului.
Locul geometric al punctelor de intersecţie ale liniilor transversale ale punţii cu liniile bordurilor corespunzătoare tuturor secţiunilor transversale de pe lungimea navei este o curbă în spaţiu. Proiecţia acestei curbe pe PD este o curbă plană denumită linia punţii în bord LPB, situată sub LPD.
Înălţimea de construcţie a navei se măsoară în PD pe urma ¤ între LK şi LPB.
Înălţimea bordului liber.
Înălţimea bordului liber F_T este distanţa măsurată după o direcţie verticală între PL şi punctul de intersecţie al liniei punţii în ¤ cu linia bordului.

$$F_T = D - T \qquad [m]$$

1.3. Rapoarte între dimensiuni
Rapoartele între dimensiunile principale caracterizează geometria, rezistenţa şi calităţile nautice ale navei.

- Raportul între lungimea şi lăţimea teoretică $\frac{L_{CWL}}{B_x}$ este un indiciu pentru viteza şi manevrabilitatea navei şi ia valori cuprinse între 4 şi 14. Valorile mici corespund pentru navele mici, lente şi cu manevrabilitate ridicată; iar valorile mari pentru navele mai rapide cu manevrabilitate redusă.
- Raportul între lungimea teoretică şi înălţimea de construcţie $\frac{L_{CWL}}{D}$ este un indiciu pentru rezistenţa longitudinală a navei şi ia valori cuprinse între 9 şi 15. Valorile mici corespund pentru navele cu rezistenţă longitudinală ridicată, iar valorile mari pentru navele cu rezistenţă longitudinală scăzută.
- Raportul între lăţimea teoretică şi înălţimea de construcţie $\frac{B_x}{D}$ este un indiciu pentru stabilitatea şi rezistenţa transversală a navei, iar valorile lui sunt cuprinse

între 1,3 şi 2. Valorile mici corespund pentru navele cu stabilitate redusă şi rezistenţă transversală ridicată, iar valorile mari pentru navele cu stabilitate ridicată şi rezistenţă transversală redusă.

- Raportul între înălţimea teoretică şi pescaj $\frac{B_x}{T}$ este un indiciu pentru stabilitate şi stabilitatea de drum, având valorile cuprinse între 2 şi 10. Valorile mici corespund pentru navele cu stabilitate redusă, dar o bună stabilitate de drum, iar valorile mari pentru navele cu stabilitate bună, dar cu stabilitate de drum redusă.
- Raportul dintre înălţimea de construcţie şi pescaj $\frac{D}{T}$ este un indiciu asupra posibilităţii de navigaţie în ape cu adâncimi mici, capacităţii de încărcare şi nescufundabilităţii, iar valorile lui sunt cuprinse între 1,05 şi 2.

1.4. Coeficienţii de fineţe

Pentru a preciza geometria corpului navei se utilizează coeficienţii de fineţe de suprafaţă şi coeficienţii de fineţe volumetrici sau prismatici.

Coeficienţii de fineţe de suprafaţă.

Coeficientul de fineţe al unei suprafeţe este definit de raportul dintre aria suprafeţei respective şi aria figurii geometrice regulate în care aceasta poate fi înscrisă. De regulă suprafaţa se înscrie într-un dreptunghi.

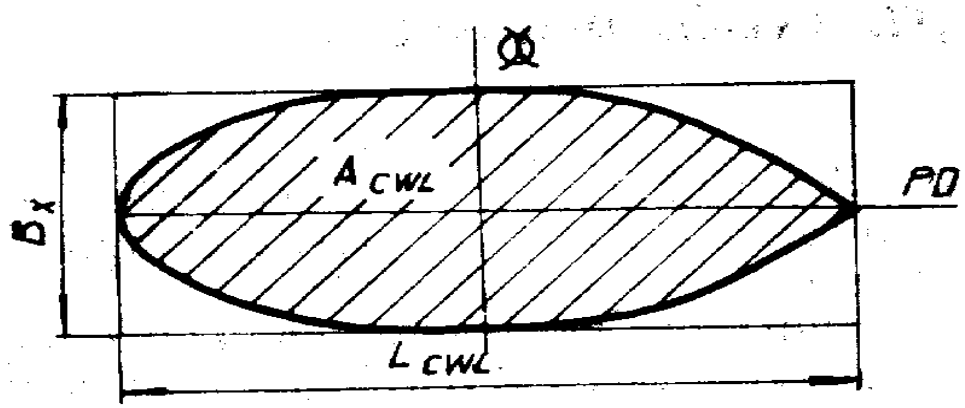


Fig. 2.3

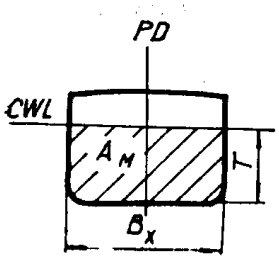
Coeficientul de fineţe al suprafeţei plutirii de plină încărcare (C_W) este definit de raportul dintre aria A_{CWL} a acestei suprafeţe şi aria dreptunghiului cu laturile L_{CWL} şi B_x în care ea se înscrie.

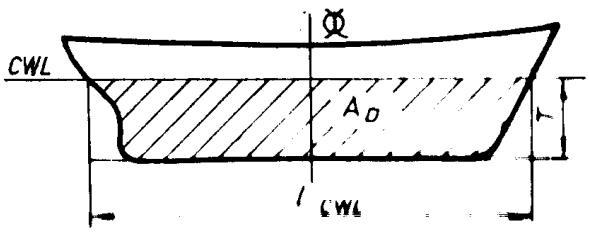
$$C_W = \frac{A_{CWL}}{L_{CWL} \cdot B_x}.$$

Coeficientul de fineţe al suprafeţei maestre imerse (C_M) este definit dintre aria A_M a acestei suprafeţe şi aria dreptunghiului cu laturile B_x şi T în care ea se înscrie.

$$C_M = \frac{A_M}{B_x \cdot T}.$$

Coeficientul de fineţe al suprafeţei de derivă (C_D) este definit de raportul dintre aria A_D a acestei suprafeţe şi aria dreptunghiului cu laturile L_{CWL} şi T în care ea se înscrie.





$$C_D = \frac{A_D}{L_{CWL} \cdot T}.$$

Coeficienţi de fineţe volumetrici sau prismatici.

Coeficientul de fineţe volumetric sau prismatic al unui corp este definit de raportul dintre volumul corpului respectiv şi volumul unui corp geometric regulat în care acesta poate fi înscris.

Volumul V al părţii imerse a corpului navei limitat de suprafaţa teoretică se numeşte volumul carenei.

Coeficientul de fineţe bloc (C_B) este definit de raportul dintre volumul carenei V şi volumul paralelipipedului cu laturile: L_{CWL}, B_x, T în care se înscrie carena navei.

$$C_B = \frac{V}{L_{CWL} \cdot B_x \cdot T}.$$

Coeficientul de fineţe longitudinal prismatic (C_{LP}) este definit de raportul dintre volumul carenei V şi volumul prismei cu aria bazei A_M şi înălţimea L_{CWL} în care se înscrie carena navei.

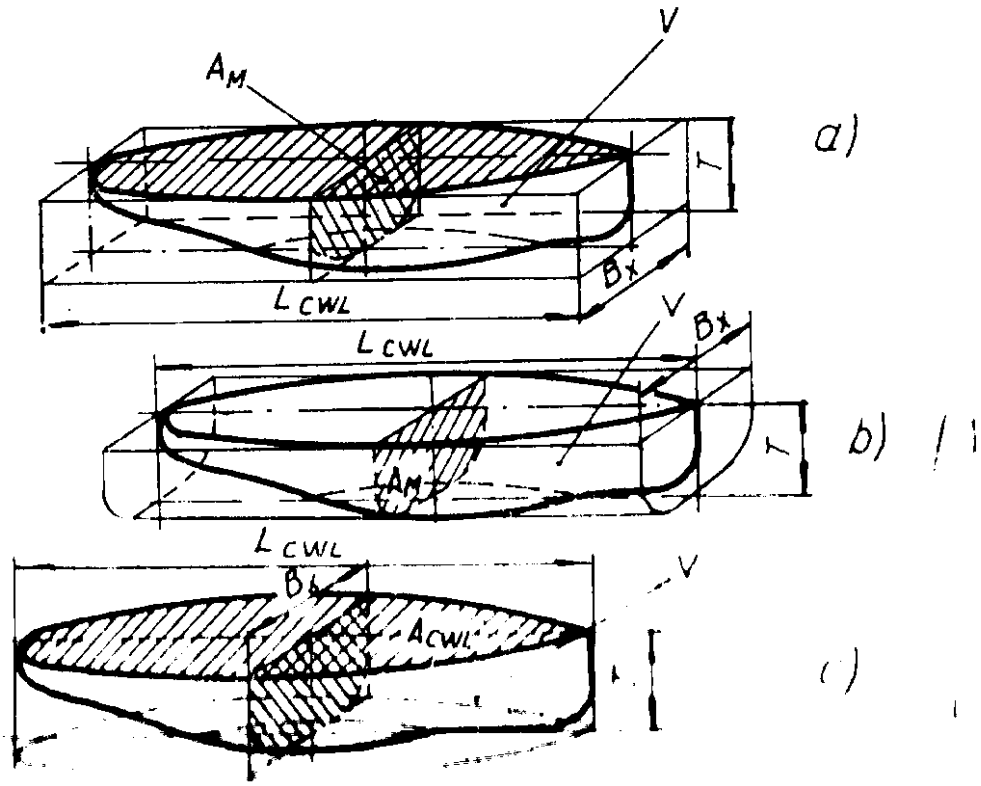


Fig. 2.6

$$C_{LP} = \frac{V}{A_M \cdot L_{CWL}} = \frac{C_B \cdot L_{CWL} \cdot B_x \cdot T}{C_M \cdot B_x \cdot T \cdot L_{CWL}} = \frac{C_B}{C_M}.$$

Coeficientul de fineţe vertical prismatic (C_{VP}) este definit de raportul dintre volumul carenei V şi volumul prismei cu aria bazei A_{CWL} şi înălţimea T în care se înscrie carena navei.

$$C_{VP} = \frac{V}{A_{CWL} \cdot T} = \frac{C_B \cdot L_{CWL} \cdot B_x \cdot T}{C_W \cdot L_{CWL} \cdot B_x \cdot T} = \frac{C_B}{C_W}.$$

Coeficientul de fineţe transversal prismatic (C_{TP}) este definit de raportul dintre volumul carenei V şi volumul prismei cu aria bazei A_D şi înălţimea B_x în care se înscrie carena navei.

$$C_{TP} = \frac{V}{A_D \cdot B_x} = \frac{C_B \cdot L_{CWL} \cdot B_x \cdot T}{C_D \cdot L_{CWL} \cdot B_x \cdot T} = \frac{C_B}{C_D}.$$

1.5. Planul de forme

Planul de forme este reprezentarea grafică prin secţiuni longitudinale, transversale şi orizontale a suprafeţei teoretice a corpului navei.

Planul de forme cuprinde trei familii de curbe, după cum urmează:

Longitudinalul planului de forme – format din curbele definite de intersecţia suprafeţei teoretice a corpului navei cu planurile paralele cu PD. Curbele astfel obţinute se numesc longitudinale şi se notează de la PD spre borduri cu: I, II, III, …

Transversalul planului de forme – format din curbele definite de intersecţia suprafeţei teoretice a corpului navei cu planuri paralele cu planul cuplului maestru.

Curbele astfel obţinute se numesc cuple teoretice şi se notează de la pupa spre prova cu: 0, 1, 2, …, 20.

Orizontalul planului de forme – format din curbele definite de intersecţia suprafeţei teoretice a corpului navei cu planurile paralele cu PL sau PB. Curbele astfel obţinute se numesc linii de plutire sau plutiri şi se notează de la PB sau PL cu: 0, 1, 2, …, 10.

Fiecare familie de curbe este raportată la un caroiaj.

Caroiajul longitudinalului planului de forme este definit de proiecţiile plutirilor şi cuplelor teoretice pe PD, încadrate în dreptunghiul de dimensiuni: L_{CWL}, T.

Caroiajul transversalului planului de forme este definit de proiecţiile plutirilor şi longitudinalelor pe ¤, încadrate în dreptunghiul de dimensiuni: B_x, T.

Caroiajul orizontalului planului de forme este definit de proiecţiile longitudinalelor şi cuplelor teoretice pe PL, încadrate în dreptunghiul de dimensiuni: $L_{CWL}, B_x/2$.

Caroiajele parţiale definite mai înainte formează împreună caroiajul planului de forme.

Etapele trasării planului de forme prin utilizarea transversalului carenei navei sau modelului de referinţă sunt:

a. Stabilirea dimensiunilor principale ale navei de proiectat. În acest caz se utilizează coeficientul $k_l = \sqrt[3]{\frac{V_1}{V_0}}$, unde V_0 este considerat volumul carenei navei de referinţă şi V_1 volumul carenei navei de proiectat.

$L_{CWL1} = k_l \cdot L_{CWL0}; B_{x1} = k_l \cdot B_{x0}; T_1 = k_l \cdot T_0; D_1 = k_l \cdot D_0$

b. Alegerea scării. (1:1; 1:10; 1:25; 1:50; 1:100; 1:200)

c. Trasarea caroiajului. Se realizează pe acelaşi format astfel: caroiajul longitudinalului în partea stângă; caroiajul transversalului în partea dreaptă, iar caroiajul orizontalului în partea stângă situat sub cel al longitudinalului.
d. Trasarea cuplelor teoretice până la CWL.
e. Trasarea liniei punţii în bord.
f. Trasarea liniilor etravei şi etamboului.
g. Trasarea cuplelor teoretice până la nivelul liniei punţii în bord şi proiecţiei acestei linii pe transversalul planului de forme.
h. Trasarea liniei punţii în planul diametral.
i. Trasarea plutirilor şi a proiecţiei liniei punţii în bord pe orizontalul planului de forme.
j. Trasarea longitudinalelor în longitudinalul planului de forme.
k. Trasarea curbei de balansare sub orizontalul planului de forme.

2. Flotabilitatea navei

Flotabilitatea este proprietatea navei de a pluti la suprafaţa apei sau de a se menţine în imersiune la o anumită adâncime impusă.
Flotabilitatea studiază plutirea liberă a navei.
Plutirea liberă exclude acţiunea momentelor exterioare de înclinare.
Pentru studiul teoretic al flotabilităţii se defineşte următorul sistem de axe de coordonate:

- originea sistemului de axe de coordonate $O = PD \cap ¤ \cap PB$;
- axa longitudinală $Ox = PD \cap PB$, cu sensul pozitiv spre prova;
- axa transversală $Oy = PB \cap ¤$, cu sensul pozitiv spre bordul Tb;
- axa verticală $Oz = PD \cap ¤$, cu sensul pozitiv de la PB în sus.

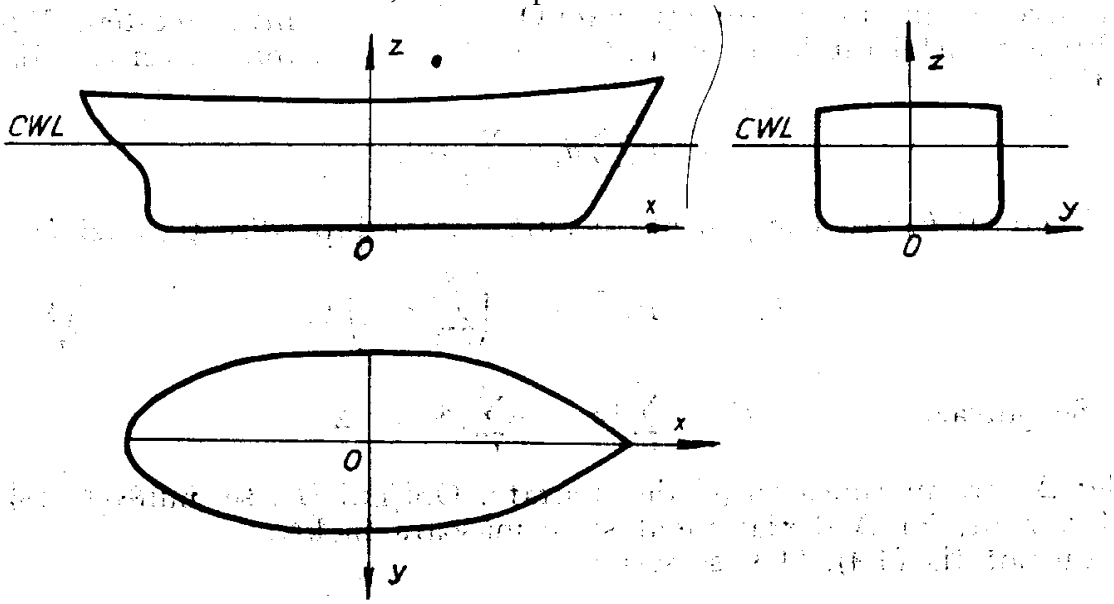


Fig. 4.1

2.1. Forţele ce acţionează asupra navei aflată în poziţie de repaus şi condiţiile de echilibru corespunzătoare acestei poziţii

Asupra navei aflată în poziţie de repaus acţionează două categorii de forţe: de greutate şi de presiune.
Forţele de greutate.

Forţele de greutate se datorează acţiunii câmpului gravitaţional asupra navei.
Forţa de greutate are punctul de aplicaţie în G, denumit centru de greutate.
Centrul de greutate este definit de punctul de aplicaţie al rezultantei forţelor de greutate corespunzătoare maselor elementare din componenţa masei navei.
Centrul de greutate G are coordonatele:

- abscisa x_G a centrului de greutate definită de distanţa de la G la planul *yOx*;
- ordonata y_G a centrului de greutate definită de distanţa de la G la planul *xOz*.

  Pentru a se asigura o plutire dreaptă în plan transversal, încă din faza de construcţie, se impune o distribuţie a greutăţilor la bord astfel încât $y_G = 0$.

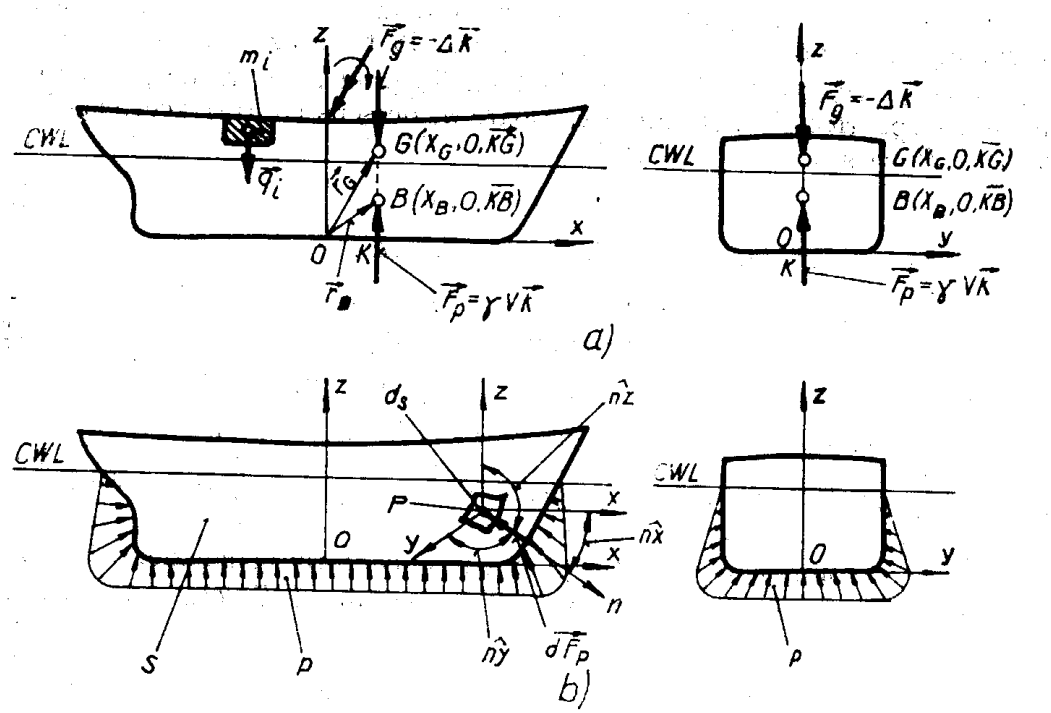


Fig. 4.2

Forţele de presiune.
Forţele de presiune se datorează presiunii hidrostatice exercitate de apă pe suprafaţa udată a corpului navei.
Centrul de aplicaţie al forţei de presiune este în centrul de carenă B.
Centrul de carenă B este centrul geometric al volumului carenei navei.
Poziţia centrului de carenă este definită de coordonatele:

- abscisa x_B a centrului de carenă definită de distanţa de la B la planul *y*Oz;
- ordonata y_B a centrului de carenă definită de distanţa de la B la planul *x*Oz. În cazul plutirii drepte în plan transversal, volumul carenei este simetric faţă de planul *x*Oz şi B se află chiar în acest plan, deci $y_B = 0$.

Se notează cu K proiecţia lui B pe PB şi se numeşte punct de chilă.
Echilibrul static presupune ca suma forţelor care acţionează asupra navei să fie nulă, adică $\Delta = \gamma \cdot V$, care este *prima condiţie de echilibru static a navei* şi care impune ca mărimea forţei de greutate să fie egală cu mărimea forţei de presiune sau, altfel spus, *deplasamentul să fie egal cu împingerea Arhimede*.

Echilibrul static impune ca suma momentelor forţelor ce acţionează asupra navei să fie nulă, adică $x_G = x_B$, care este *a doua condiţie de echilibru static a navei* şi care impune ca *forţele ce acţionează asupra ei să aibă acelaşi suport*.
Aceste două relaţii reprezintă ecuaţiile de echilibru corespunzătoare plutirii drepte a navei.

2.2. Tipuri de plutiri, parametrii şi ecuaţiile de echilibru corespunzătoare acestor plutiri

Prin plutire se înţelege menţinerea navei într-o anumită poziţie în raport cu suprafaţa liberă a apei.
Cazul general de plutire a navei corespunde înclinării atât în plan transversal cât şi în plan longitudinal.
Fie φ şi θ unghiurile de înclinare în plan transversal şi longitudinal ale plutirii.
Unghiul de înclinare transversală sau unghiul de bandă φ este unghiul făcut de o plutire înclinată în plan transversal cu PB şi se consideră pozitiv când nava se înclină spre bordul Tb.
Unghiul de înclinare longitudinală sau unghiul de asietă θ este unghiul făcut de o plutire înclinată în planul longitudinal cu PB şi se consideră pozitiv când nava se înclină spre prova.
Înclinarea navei spre prova se numeşte aprovare, iar cea spre pupa apupare.
Dând anumite valori particulare unghiurilor φ şi θ se obţin patru tipuri de plutiri.

Plutirea dreaptă ($\varphi = 0; \theta = 0$)

Plutirea dreaptă WL este plutirea al cărei plan este normal pe PD şi paralel cu PB.
Poziţia acestei plutiri faţă de PB este definită printr-un singur parametru:

$$T_{pv} = T_{pp} = T_{Tb} = T_{Bb} = T = T¤$$

Ecuaţii de echilibru corespunzătoare plutirii drepte: $\Delta = \gamma \cdot V; x_G = x_B$.

Plutirea înclinată în plan transversal ($\varphi \neq 0; \theta = 0$)

Plutirea înclinată în plan transversal $W_\varphi L_\varphi$ este plutirea al cărei plan este normal pe ¤ dar nu este paralel cu PB.

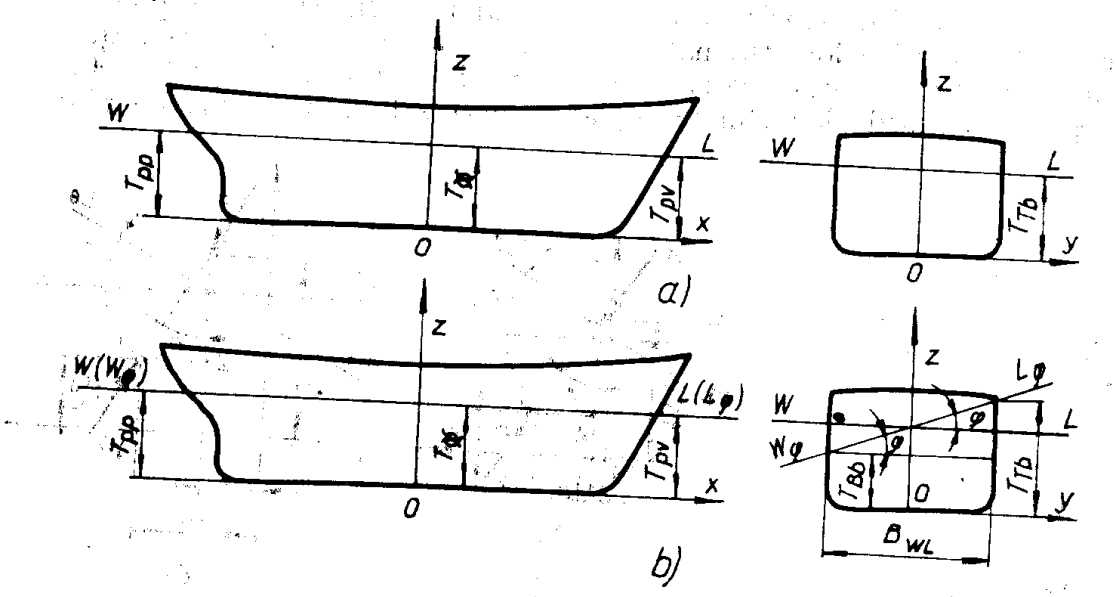


Fig. 4.1

Poziţia acesteia în raport cu PB este definită de următorii parametri:

$$T_{pv} = T_{pp} = T_{\square} = \frac{T_{Tb} + T_{Bb}}{2}$$

$$\tan\varphi = \frac{T_{Tb} - T_{Bb}}{B_{WL}}$$

Ecuaţiile de echilibru sunt:

$$\Delta = \gamma \cdot V$$

$$\tan\varphi = \frac{y_B - y_G}{\overline{KG} - \overline{KB}}.$$

Plutirea înclinată în plan longitudinal ($\varphi = 0; \theta \neq 0$)

Plutirea înclinată în plan longitudinal $W_\theta L_\theta$ este plutirea al cărei plan este normal pe PD dar nu este paralel cu PB.

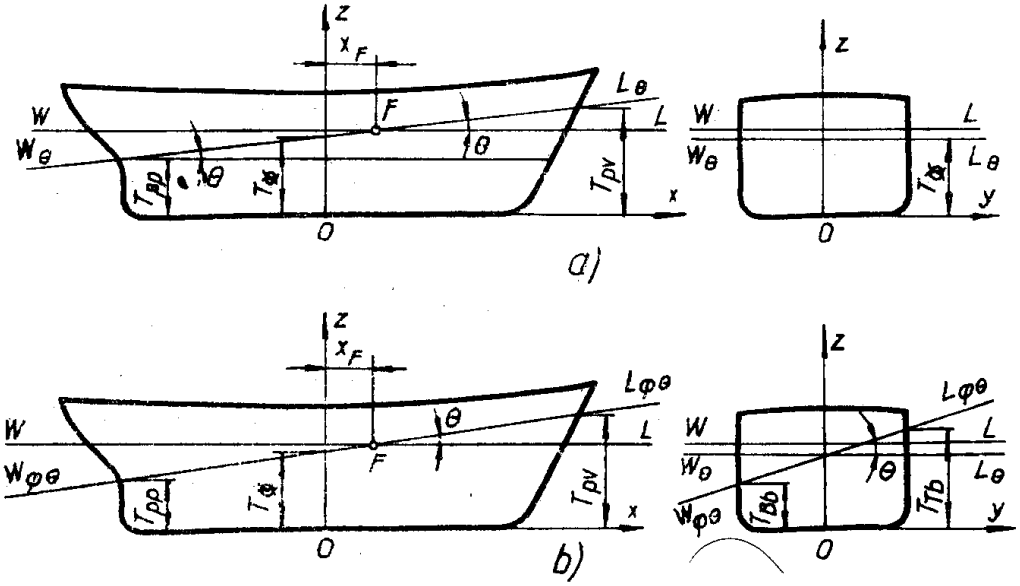


Fig. 4.5

Plutirea $W_\theta L_\theta$ se intersectează cu WL după o axă transversală ce trece prin centrul geometric $F(x_F, 0)$ al plutirii WL.

Poziţia plutirii $W_\theta L_\theta$ în raport cu PB este determinată de parametrii:

$$T_{\square} = \frac{T_{pv} + T_{pp}}{2}$$

$$\tan\theta = \frac{T_{pv} - T_{pp}}{L_{WL}}.$$

Ecuaţiile de echilibru sunt:

$$\Delta = \gamma \cdot V$$

$$\tan\theta = \frac{x_B - x_G}{\overline{KG} - \overline{KB}}.$$

Plutirea înclinată în ambele planuri ($\varphi \neq 0; \theta \neq 0$)

Plutirea înclinată în plan transversal şi longitudinal $W_{\varphi\theta} L_{\varphi\theta}$ este plutirea al cărei plan nu este paralel cu PB.

Poziţia acestei plutiri în raport cu PB este definită de următorii parametri:

$$T_{\text{¤}} = \frac{T_{pv} + T_{pp}}{2} = \frac{T_{Tb} + T_{Bb}}{2}$$

$$\tan\theta = \frac{T_{pv} - T_{pp}}{L_{WL}}$$

$$\tan\varphi = \frac{T_{Tb} - T_{Bb}}{B_{WL}}.$$

Ecuaţiile de echilibru sunt:

$$\Delta = \gamma \cdot V$$

$$\tan\varphi = \frac{y_B - y_G}{\overline{KG} - \overline{KB}}$$

$$\tan\theta = \frac{x_B - x_G}{\overline{KG} - \overline{KB}}.$$

2.3. Calculul mărimii forţei de greutate şi coordonatelor centrului de greutate. Deplasament. Deplasament deadweight. Tonaj.

Calculul mărimii forţei de greutate. Deplasament. Deplasament deadweight. Tonaj.

Forţa de greutate a navei $\vec{F}_g = \sum_{i=1}^{n} \vec{q}_i = \sum_{i=1}^{n} m_i \cdot \vec{g}$, unde m_i este o masă elementară, iar $\vec{q}_i$ este forţa de greutate elementară dispusă după direcţia axei Oz.

Mărimea greutăţii totale a unei nave poartă denumirea de deplasament.

$$\Delta = \Delta_{gol} + \Delta_{dw} \quad [kN].$$

Deplasamentul navei goale $\Delta_{gol} = \Delta_{ce} + \Delta_{s+r} + \Delta_{mas} + \Delta_{am+inst} \quad [kN]$, în care:

Δ_{ce} - greutatea corpului etanş;

Δ_{s+r} - greutatea suprastructurilor şi rufurilor;

Δ_{mas} - greutatea maşinilor principale şi instalaţiilor aferente;

$\Delta_{am+inst}$ - greutatea amenajărilor şi instalaţiilor auxiliare de bord.

Deplasamentul deadweight $\Delta_{dw} = \Delta_u + \Delta_{c+u+a} + \Delta_{rez} + \Delta_{ech} \quad [kN]$

Δ_u - greutatea încărcăturii utile sau a mărfii transportate;

Δ_{c+u+a} - greutatea rezervelor de combustibil, ulei şi apă tehnică, necesare funcţionării maşinilor principale şi auxiliare de la bord pentru raza de autonomie a navei;

Δ_{rez} - greutatea rezervelor de alimente, apă potabilă, necesare echipajului, precum şi a rezervelor de materiale de întreţinere şi piese de schimb;

Δ_{ech} - greutatea echipajului ambarcat la bord şi a pasagerilor dacă e cazul.

Deplasamentul deadweight Δ_{dw} este definit de mărimea tuturor greutăţilor variabile şi consumabile, inclusiv a echipajului şi pasagerilor, corespunzătoare navei la plină încărcare.

Tonajul brut TB este o mărime calculată convenţional, care reflectă volumul total închis de corpul navei inclusiv suprastructurile.

Tonajul net TN este o fracţiune din tonajul brut care reflectă capacitatea economică a navei, calculată convenţional în funcţie de volumul spaţiului de încărcare şi de numărul de pasageri.

Unitatea de măsură pentru tonaj este tona registru TR cu cele două denumiri specifice: tona registru brut TRB şi tona registru net TRN.

O tonă registru reprezintă volumul a 100 de picioare cubice engleze sau 2,831 m³.

Calculul coordonatelor centrului de greutate

Punctul de aplicaţie al forţei de greutate $\vec{F}_g$ este centrul de greutate $G\left(x_G, y_G, \overline{KG}\right)$. Se consideră nava reprezentată în PD şi ¤ şi punctul G în care este aplicată forţa de greutate a navei de mărime Δ. Fie de asemenea o masă elementară $m_i, i = \overline{1,n}$ cu centrul în punctul $A_i\left(x_i, y_i, z_i\right)$ asupra căreia acţionează forţa elementară de greutate de mărime q_i.

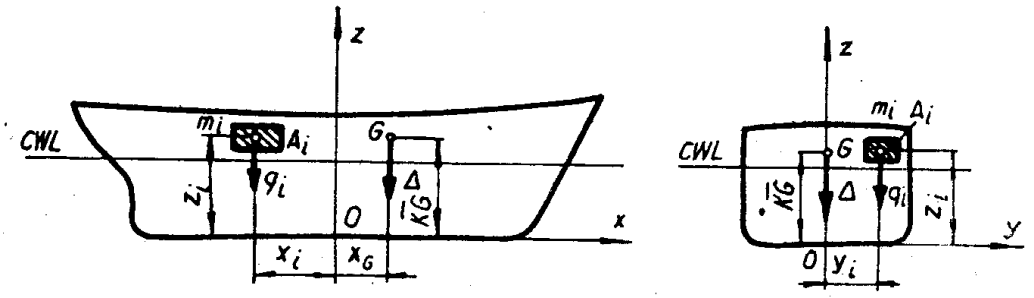


Fig. 4.6

Momentul static al mărimii forţei de greutate elementare faţă de planul *y*Oz este:

$$dM_{yzi} = q_i \cdot x_i = m_i \cdot x_i \cdot g\,.$$

Coordonatele sunt:

$$x_G = \frac{M_{yz}(\Delta)}{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \ [m]$$

$$y_G = \frac{M_{xz}(\Delta)}{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i y_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} = 0 \ [m]$$

$$\overline{KG} = \frac{M_{xy}(\Delta)}{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i z_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \ [m]$$

Acest mod de calcul presupune cunoaşterea valorilor maselor elementare ce compun masa totală a navei, precum şi a poziţie centrelor acestora în raport cu sistemul de axe de coordonate O*xyz*.

2.4. Calculul analitic de carene drepte

Calculul analitic de carene drepte constă în stabilirea relaţiilor analitice de calcul pentru trei categorii de elemente.

a. Elementele geometrice care definesc suprafaţa plutirii drepte. Din această categorie fac parte:

- aria A_W a suprafeţei plutirii drepte;
- coordonatele x_F, y_F ale centrului geometric F al suprafeţei plutirii drepte;

- momentele de inerţie I_L, I_T ale suprafeţei plutirii drepte faţă de axele centrale (longitudinală şi transversală) de inerţie.

b. Elementele geometrice care definesc suprafaţa cuplei teoretice. Din această categorie fac parte:

- ariile A'_x, A_x ale suprafeţei jumătăţii de cuplă şi întregii cuple teoretice;
- momentele statice M'_z, M'_y ale suprafeţei jumătăţii cuplei teoretice faţă de axele Oz şi O*y*.

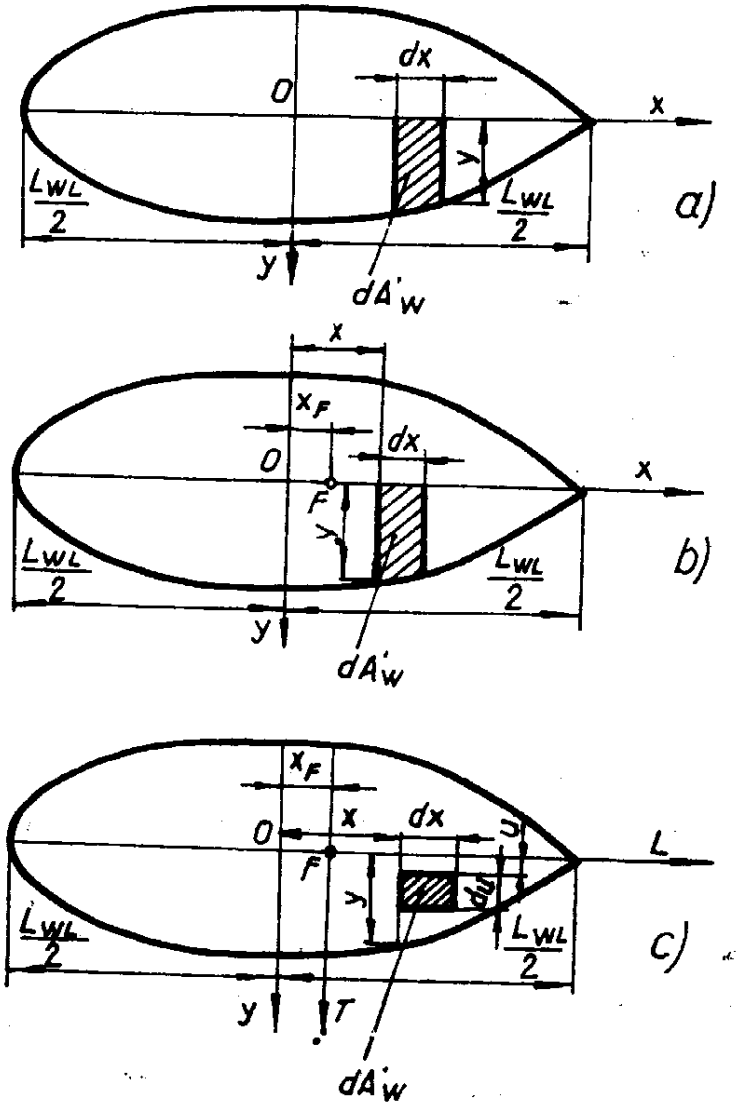
c. Elementele care definesc carena dreaptă. Din această categorie fac parte:

- volumul carenei V;
- coordonatele $x_B, y_B, \overline{KB}$ ale centrului de carenă B.

Calculul ariei suprafeţei plutirii drepte

Se consideră suprafaţa de arie A_W definită de conturul navei în planul unei plutiri drepte. Fie dA'_W aria unui dreptunghi elementar de dimensiuni y, dx. Atunci:

$$dA'_W = y \cdot dx$$



Integrând pe intervalul $[-\frac{L_{WL}}{2};+\frac{L_{WL}}{2}]$ se obţine aria A'_W pentru jumătate din suprafaţa plutirii.

$$A'_W = \int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} y \cdot dx ,$$

iar aria întregii suprafeţe a plutirii drepte este:

$$A_W = 2 \cdot A'_W = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} y \cdot dx \quad [m^2],$$

unde $y = g(x)$.

Calculul coordonatelor centrului geometric al suprafeţei plutirii drepte

Se consideră suprafaţa de arie A_W definită de conturul navei în planul unei plutiri drepte, raportată la sistemul de axe de coordonate *x*O*y*. Poziţia centrului geometric F al suprafeţei plutirii drepte este definită de coordonatele x_F şi $y_F = 0$.

Fie $dA'_W \in A_W$ aria unui dreptunghi elementar de dimensiuni y, dx, situat la distanţă x faţă de axa O*y* (dx fiind infinit de mic s-a considerat distanţa de la centrul geometric al dreptunghiului elementar până la axa O*y*, $x + \frac{dx}{2} \cong x$). Momentul static al suprafeţei de arie dA'_W faţă de axa O*y* este:

$$dM'_y = x \cdot dA'_W = xy \cdot dx .$$

Integrând pe intervalul $\left[-\frac{L_{WL}}{2};+\frac{L_{WL}}{2}\right]$ şi înmulţind relaţia obţinută cu 2 se obţine momentul static $M_y(A_W)$ al suprafeţei de arie A_W faţă de axa O*y*:

$$M_y(A_W) = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} xy\, dx ,$$

în care: $y = g(x)$.

Conform definiţiei,

$$M_y(A_W) = A_W \cdot x_F .$$

$$x_F = \frac{2}{A_W}\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} xy\, dx = \frac{\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} xy\, dx}{\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} y\, dx} \qquad [m].$$

Calculul momentelor de inerţie ale suprafeţei plutirii drepte faţă de axele centrale (longitudinală şi transversală) de inerţie

Se consideră suprafaţa de arie A_W, definită de conturul navei în planul unei plutiri drepte. Fie $dA'_W \in A_W$ aria dreptunghiului elementar de dimensiuni dx, du situat la distanţa *x* faţă de axa O*y* şi la distanţa *u* faţă de axa O*x*. Axa centrală longitudinală de inerţie *L* trece prin centrul geometric F al suprafeţei plutirii şi se suprapune cu O*x*. Momentul de inerţie al suprafeţei de arie dA'_W faţă de *L* este:

$$dI'_L = u^2 du\, dx .$$

Integrând după O*x* pe intervalul $\left[-\frac{L_{WL}}{2};+\frac{L_{WL}}{2}\right]$ şi după O*y* pe intervalul $[0; y]$, se obţine momentul de inerţie I'_L pentru jumătate din suprafaţa plutirii drepte faţă de *L*:

$$I'_L = \int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} dx \int_0^y u^2\, du = \frac{1}{3}\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} y^3\, dx\,,$$

iar momentul de inerţie I_L pentru întreaga suprafaţă a plutirii drepte este:

$$I_L = 2 \cdot I'_L = \frac{2}{3}\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} y^3\, dx \quad [m]\,,$$

în care: $y = g(x)$.

Fie acum momentul de inerţie al suprafeţei de arie dA'_W faţă de axa O*y*:

$$dI'_y = x^2\, dx\, du\,.$$

Integrând după O*x* pe intervalul $\left[-\frac{L_{WL}}{2}; +\frac{L_{WL}}{2}\right]$ şi după O*y* pe intervalul $[0; y]$, se obţine momentul de inerţie I'_y pentru jumătate din suprafaţa plutirii faţă de axa O*y*:

$$I'_y = \int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} x^2\, dx \int_0^y du = \int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} x^2 y\, dx\,,$$

iar momentul de inerţie I_y pentru întreaga suprafaţă a plutirii drepte este:

$$I_y = 2 \cdot I'_y = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} x^2 y\, dx \quad [m],$$

unde: $y = g(x)$.

Axa centrală transversală de inerţie *T*, trece prin F şi este paralelă cu O*y*. Se aplică teorema lui Steiner şi se obţine relaţia analitică de calcul a momentului de inerţie I_T al suprafeţei plutirii drepte faţă de axa *T*:

$$I_T = I_y - A_W \cdot x_F^2 \quad [m^4]\,.$$

Calculul volumului carenei

Pentru nava reprezentată în PD se consideră că aria suprafeţei definite de conturul navei în acest plan şi plutirea dreaptă WL este volumul carenei V. Relaţia analitică de calcul a volumului carenei se poate stabili în două moduri: prin integrare pe lungime şi prin integrare pe înălţime.

Fie dV volumul prismei elementare definite de A_x, dx şi situată la distanţa *x* faţă de planul *y*O*z*. Atunci:

$$dV = A_x\, dx\,,$$

în care: A_x este aria imersă a secţiunii transversale situate la distanţa *x* faţă de planul *y*O*z*.

Integrând pe intervalul $\left[-\frac{L_{WL}}{2}; +\frac{L_{WL}}{2}\right]$ se obţine:

$$V = \int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} A_x\, dx = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} \int_0^T y\, dx\, dz \quad [m^3]\,,$$

în care: $A_x = g_1(x),\ y = h(x, z)$.

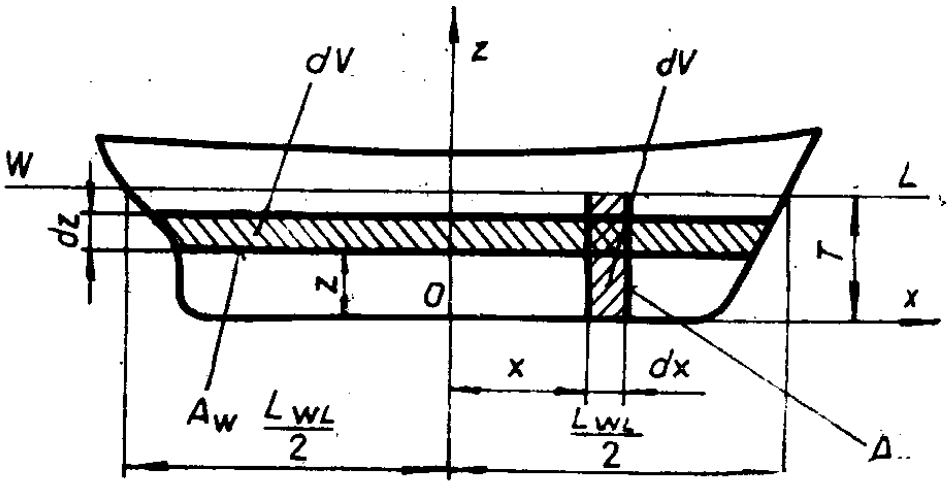


Fig. 4.10

Fie acum dV volumul prismei elementare definite de A_W, dz şi situate la distanţa z faţă de planul xOz. Atunci:

$$dV = A_W\, dz\,.$$

Integrând pe intervalul $[0,\, T]$ se obţine:

$$V = \int_0^T A_W\, dz = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T y\, dx\, dz \qquad [m^3],$$

în care: $A_W = f_1(z), y = h(x,z)$.

În concluzie se poate scrie:

$$V = \int_0^T A_W\, dz = \int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} A_x\, dx = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T y\, dx\, dz \qquad [m^3],$$

unde: $A_W = f_1(z), A_x = g_1(x), y = h(x,z)$.

Calculul coordonatelor centrului de carenă

Poziţia centrului de carenă B este definită de coordonatele: $x_B,\ y_B = 0,\ \overline{KB}$.

Fie volumul dV al prismei elementare situate la distanţa x faţă de planul yOz.

Momentul static al lui dV faţă de yOz este:

$$dM_{yz} = x\, dV = A_x\, x\, dx.$$

Integrând pe intervalul $\left[-\frac{L_{WL}}{2}; +\frac{L_{WL}}{2}\right]$ se obţine:

$$M_{yz}(V) = \int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} A_x\, x\, dx = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T yx\, dx dz\,.$$

Conform definiţiei:

$$M_{yz}(V) = V \cdot x_B = x_B\left[2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T y\, dx dz\right].$$

Din cele două relaţii de mai sus, rezultă:

$$x_B = \frac{M_{yz}(V)}{V} = \frac{1}{V}\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2} A_x\, x\, dx = \frac{\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T yx\, dx dz}{\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T y\, dx dz} \qquad [m],$$

în care: $A_x = g_1(x);\ y = h(x,z)$.

Fie acum volumul dV al prismei elementare situate la distanţa z faţă de planul xOy. Momentul static al lui dV faţă de xOy este:

$$dM_{xy} = z\,dV = A_W\,z\,dz\,.$$

Integrând pe intervalul $[0,\ T]$ se obţine:

$$M_{xy}(V) = \int_0^T A_W\,z\,dz = 2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T yz\,dx\,dz\,.$$

Conform definiţiei:

$$M_{xy}(V) = V\cdot\overline{KB} = \overline{KB}\cdot\left[2\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/} y\,dx\,dz\right].$$

Din cele două relaţii de mai sus, rezultă:

$$\overline{KB} = \frac{M_{xy}(V)}{V} = \frac{1}{V}\int_0^T A_W\,z\,dz = \frac{\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T yz\,dx\,dz}{\int_{-L_{WL}/2}^{L_{WL}/2}\int_0^T y\,dx\,dz}\,,$$

în care: $A_W = f_1(z);\ y = h(x,z)$.

❖ Calculul practic de carene drepte

Geometria complexă a corpului navei nu permite determinarea valorilor exacte ale integralelor şi din acest motiv se recurge la utilizarea unor metode aproximative de integrare aşa cum este metoda trapezelor.

Calculul ariilor suprafeţelor plutirilor drepte, ariilor suprafeţelor cuplelor teoretice şi volumului carenei corespunzătoare CWL

Graficul funcţiei $A_x = g_1(x)$ prezintă următoarelor trei proprietăţi:

- aria suprafeţei aflate sub graficul funcţiei $A_x = g_1(x)$ reprezintă la scară W_{CWL} ;

$$A = \int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} A_x\cdot dx = V_{CWL}$$

- abscisa x_A a centrului geometric al suprafeţei aflate sub graficul funcţiei $A_x = g_1(x)$ este egală cu abscisa x_B a centrului de carenă;

$$x_A = \frac{1}{V_{CWL}}\int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} A_x\cdot x\cdot dx = (x_B)_{CWL}$$

- coeficientul de fineţe al suprafeţei aflate sub graficul funcţiei $A_x = g_1(x)$ este egal cu coeficientul de fineţe longitudinal prismatic C_{LP} al carenei.

Graficul funcţiei $A_W = f_1(z)$ prezintă trei proprietăţi:

- aria A a suprafeţei definite de graficul funcţiei $A_W = f_1(z)$, axa Oz şi CWL reprezintă la scară V_{CWL} ;

$$A = \int_0^T A_W\,dz = V_{CWL}$$

- cota centrului geometric al suprafeţei definite de graficul funcţiei $A_W = f_1(z)$, axa Oz şi CWL este egală cu cota $\overline{KB}$ a centrului de carenă;

$$z_A = \frac{1}{V_{CWL}}\int_0^T A_W\,z dz = (\overline{KB})_{CWL}$$

- Coeficientul de fineţe al suprafeţei definite de graficul funcţiei $A_W = f_1(z)$, axa Oz şi CWL este egal cu coeficientul de fineţe vertical prismatic C_{VP} al carenei.

Calculul volumului carenei şi deplasamentului navei corespunzător plutirii drepte $j = \overline{0,\ m}$

Graficul funcţiei $V = f_2(z)$ are două proprietăţi:

- graficul acestei funcţii admite axa Oz ca tangentă în origine, deoarece originea este un punct de extrem;
- dacă prin punctul $A \in f_2(z)$ se duce o dreaptă orizontală care intersectează Oz în E şi tangenta la graficul funcţiei $V = f_2(z)$ care intersectează Oz în F, atunci valoarea raportului $\frac{\overline{EF}}{\overline{EO}}$ este egală cu coeficientul de fineţe vertical prismatic $(C_{VP})_A$ pentru pescajul corespunzător lui A.

$$\frac{\overline{EF}}{\overline{EO}} = \frac{V_A}{A_{WA} \cdot T_A} = (C_{VP})_A$$

Calculul abscisei centrului plutirii şi abscisei centrului de carenă

Graficele funcţiilor $x_F = f_4(z);\ x_B = f_5(z)$ au următoarea proprietate:

- punctele de intersecţie ale graficelor funcţiilor $x_F = f_4(z);\ x_B = f_5(z)$ sunt puncte de extrem (minim sau maxim) pentru funcţia $x_B = f_5(z)$.

Calculul cotei centrului de carenă

Graficul funcţiei $\overline{KB} = f_6(z)$ prezintă următoarea proprietate:

- graficul funcţiei $\overline{KB} = f_6(z)$ admite axa Oz ca tangentă în origine.

Calculul momentelor de inerţie ale suprafeţei plutirii drepte faţă de axele centrale (longitudinală şi transversală) de inerţie

$$I_{Lj} = \frac{2}{3}\int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} y_j^3 \cdot dx \qquad [m^4] \Rightarrow metoda\ \ trapezelor \Rightarrow I_{Lj} = \frac{2}{3}\lambda \sum_{i=0}^{n} y_{ij}^3$$

$$I_{yj} = 2\int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} x^2 y_i dx \qquad [m^4] \Rightarrow metoda\ trapezelor \Rightarrow I_{yj} = 2\lambda^3 \sum_{i=0}^{n} x_i^2 y_{ij}$$

$$I_{Tj} = I_{yj} - A_{Wj} x_{Fj}^2;\ \ \overline{j = 0,\ m}$$

Graficele funcţiilor $I_L = f_7(z),\ I_T = f_8(z)$ se trasează folosind două tabele.

Desenul care include graficele funcţiilor ce au pe *z* ca variabilă independentă se numeşte diagrama de carene drepte.

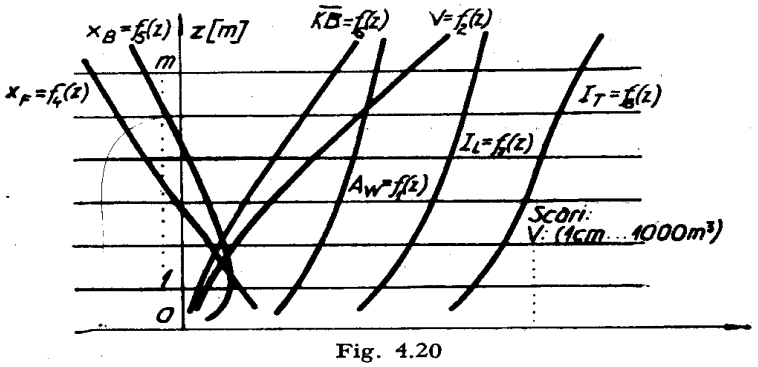


Fig. 4.20

❖ Calculul de carene înclinate

Deseori, poziţia navei în raport cu suprafaţa liberă a apei este definită de o plutire oarecare (înclinată atât în plan longitudinal cât şi în plan transversal). Pentru studiul

condiţiilor de echilibru în astfel de situaţii este necesar să se calculeze volumul carenei şi coordonatele centrului de carenă.

Se consideră o navă înclinată în plan longitudinal şi transversal cu unghiul θ, respectiv φ, reprezentată prin secţiunea sa în PD şi în plan transversal situat la distanţa x faţă de ¤. Pentru plutirea $W_{\theta\varphi}L_{\theta\varphi}$ rezultă volumul carenei $V_{\theta\varphi}$ şi coordonatele $x_{B\theta\varphi}, y_{B\theta\varphi}, (\overline{KB})_{\theta\varphi}$ ale centrului de carenă.

Fie $dV_{\theta\varphi}$ volumul prismei elementare definită de $A_{x\theta\varphi}$, dx, situată la distanţa x faţă de planul $yOz \subset$ ¤. Atunci: $dV_{\theta\varphi} = A_{x\theta\varphi} \cdot dx$.

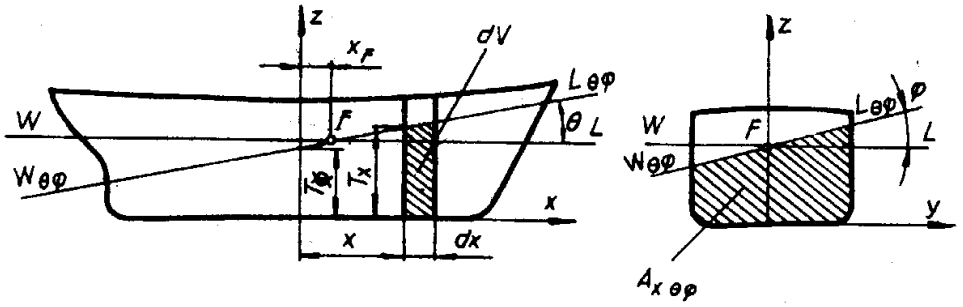


Fig. 4.27

Integrând pe intervalul $\left[-\frac{L_{CWL}}{2}; \frac{L_{CWL}}{2}\right]$, se obţine: $V_{\theta\varphi} = \int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} A_{x\theta\varphi} dx \quad [m^3]$, unde $A_{x\theta\varphi}$ este aria secţiunii transversale imerse, situate la distanţa x faţă de planul yOz.

Pentru calculul coordonatelor centrului de carenă este necesar în prealabil să se determine momentele statice ale volumului carenei faţă de planurile: yOz, xOz, xOy.

$$x_{B\theta\varphi} = \frac{1}{V_{\theta\varphi}} \int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} A_{x\theta\varphi} x dx \quad [m];$$

$$y_{B\theta\varphi} = \frac{1}{V_{\theta\varphi}} \int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} M_{z\theta\varphi} dx \quad [m];$$

$$(\overline{KB})_{B\theta\varphi} = \frac{1}{V_{\theta\varphi}} \int_{-L_{CWL}/2}^{L_{CWL}/2} M_{y\theta\varphi} dx \quad [m],$$

în care $M_{z\theta\varphi}$, $M_{y\theta\varphi}$ sunt momentele statice ale suprafeţei transversale imerse de arie $A_{x\theta\varphi}$, faţă de axele Oz, Oy.

Calculul de carene înclinate prin metoda trapezelor

Pentru determinarea $A_{x\theta\varphi}$, $M_{z\theta\varphi}$, $M_{y\theta\varphi}$ se consideră secţiunea transversală situată la distanţa x faţă de planul yOz, având trasate pe ea graficele funcţiilor: $A'_x = h_1(z)$, $M'_z = h_2(z)$, $M'_y = h_3(z)$.

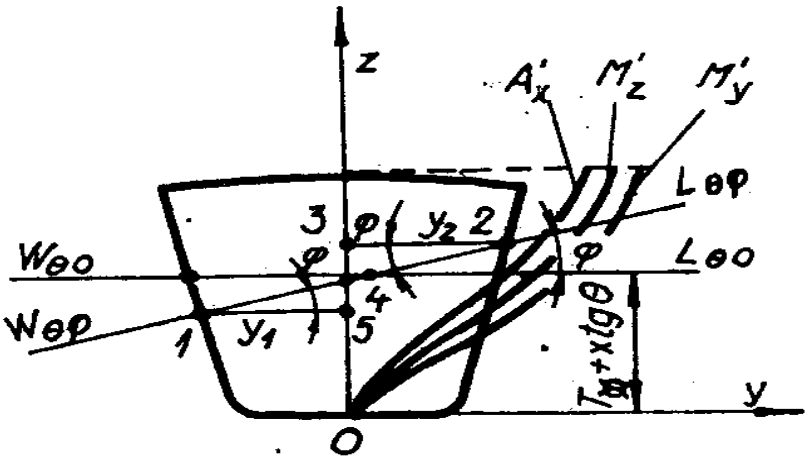


Fig. 4.28

Fie $W_{\theta 0}L_{\theta 0}$ proiecţia pe planul secţiunii transversale a plutirii înclinate în plan longitudinal cu unghiul θ. Ea este definită de parametrul:

$$T_x = T_{\text{¤}} + x \cdot \tan\theta \qquad [m].$$

Se obţine:

$$A_{x\theta\varphi} = A'_{x1} + A'_{x2} - \frac{1}{2}\left(y_2^2 - y_1^2\right)\tan\varphi \qquad [m^2];$$

$$M_{z\theta\varphi} = M'_{z2} - M'_{z1} - \frac{1}{6}\left(y_2^3 + y_1^3\right)\tan\varphi \quad [m^3];$$

$$M_{y\theta\varphi} = M'_{y1} + M'_{y2} - \frac{1}{3}\left(y_1^3 + y_2^3\right)\tan^2\varphi - \frac{1}{2}x\left(y_2^2 - y_1^2\right)\tan\varphi\tan\theta - T_{\text{¤}}\left(y_2^2 - y_1^2\right)\tan\varphi,$$

unde:

M'_{z2} - momentul static al suprafeţei de ariei A_{02345}, faţă de axa Oz;

$-M'_{z1}$ - momentul static al suprafeţei de arie A_{015}, faţă de axa Oz;

2.5. Ambarcarea (debarcarea) de greutăţi

Operaţiunile de ambarcare (debarcare) de greutăţi sunt întâlnite în mod frecvent în practica exploatării navelor.

Ambarcarea (debarcarea) de greutăţi mici

Greutatea mică este considerată acea greutate care ambarcată la bord produce o modificare de pescaj astfel încât bordurile pot fi considerate verticale pe toată lungimea navei.

Se consideră o navă reprezentată prin secţiunile sale în PD şi ¤. Poziţia iniţială a navei este definită de plutirea dreaptă WL căreia îi corespund:

- deplasamentul Δ aplicat în centrul de greutate $G\left(x_G, y_G, \overline{KG}\right)$;
- împingerea Arhimedică γV aplicată în centrul de carenă $B\left(x_B, y_B, \overline{KB}\right)$.

Ecuaţiile de echilibru static corespunzătoare poziţiei iniţiale a navei sunt:

$$\Delta = \gamma V;$$

$$x_G = x_B;\ y_B = y_G = 0.$$

Fie q mărimea greutăţii care se ambarcă în punctul $A(x, y, z)$ de pe navă. Ambarcarea lui q determină:

- modificarea pescajului mediu;
- modificarea poziţiei centrului de carenă;
- modificarea poziţiei centrului de greutate.

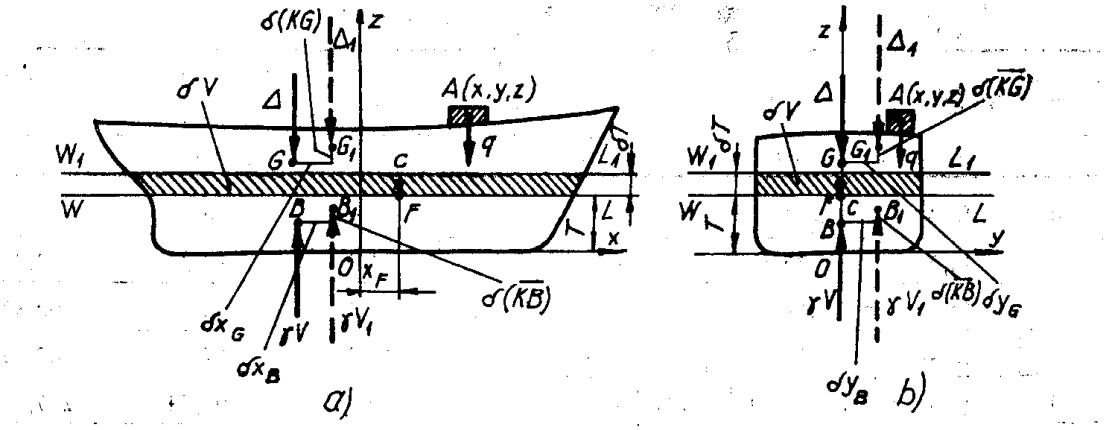


Fig. 4.46

Modificarea pescajului mediu

În urma ambarcării greutăţii de mărime q, deplasamentul navei creşte astfel:

$$\Delta_1 = \Delta + q \, .$$

Acestui deplasament Δ_1 i se opune împingerea arhimedică:

$$\gamma V_1 = \gamma V + \gamma \cdot \delta V \, .$$

Conform primei condiţii de echilibru, avem:

$$\Delta_1 = \gamma V_1 \text{ sau } \Delta + q = \gamma V + \gamma \cdot \delta V$$

Astfel:

$$q = \gamma \cdot \delta V \, ,$$

în care: δV este volumul de apă suplimentar dezlocuit de navă ca urmare a ambarcării lui q şi se calculează cu relaţia:

$$\delta V = A_W \cdot \delta T \, ,$$

unde: A_W este aria suprafeţei plutirii drepte iniţiale, iar δT este modificarea pescajului mediu.

$$\delta T = \pm \frac{q}{\gamma \cdot A_W} \quad [m]$$

Mărimii q i se asociază semnul + la ambarcare, respectiv semnul – la debarcare.

Modificarea poziţiei centrului de carenă

În urma ambarcării greutăţilor se modifică volumul carenei, motiv care determină deplasarea centrului de carenă din punctul iniţial $B\left(x_B, y_B = 0, \overline{KB}\right)$ în punctul $B_1\left(x_{B1}, y_{B1}, \overline{KB_1}\right)$. Deplasarea centrului de carenă rezultă din deplasările elementare $\delta x_B, \delta y_B, \delta(\overline{KB})$. Cauza apariţiei acestor deplasări este volumul suplimentar δV cu centrul geometric $c\left(x_F, 0, T + \frac{\delta T}{2}\right)$.

Se calculează momentele statice ale volumelor δV şi $V_1 = V + \delta V$ faţă de planul transversal ce trece prin B şi se egalează:

$$\delta V \cdot (x_F - x_B) = (V + \delta V) \cdot \delta x_B$$

$$\Downarrow$$

$$\delta x_B = \frac{\delta V}{V + \delta V}(x_F - x_B) = \frac{\gamma \cdot \delta V}{\gamma V + \gamma \cdot \delta V}(x_F - x_B) = \pm \frac{q}{\Delta \pm q}(x_F - x_B) \ [m]$$

$$\Downarrow$$

$$x_{B1} = x_B + \delta x_B = x_B \pm \frac{q}{\Delta \pm q}(x_F - x_B) \quad [m].$$

În mod analog se determină deplasările δy_B, $\delta(\overline{KB})$ şi respectiv coordonatele y_{B1}, $\overline{KB}_1$:

$$\delta y_B = 0;$$

$$y_{B1} = 0.$$

$$\delta(\overline{KB}) = \frac{\delta V}{V + \delta V}\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{KB}\right) = \frac{\gamma \cdot \delta V}{\gamma V + \gamma \cdot \delta V}\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{KB}\right) = \pm \frac{q}{\Delta \pm q}\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{KB}\right) \ [m]$$

$$\Downarrow$$

$$\overline{KB}_1 = \overline{KB} + \delta(\overline{KB}) = \overline{KB} \pm \frac{q}{\Delta \pm q}\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{KB}\right) \ [m].$$

Modificarea poziţiei centrului de greutate

În urma ambarcării greutăţii de mărime q, considerată concentrată în punctul $A(x, y, z)$, centrul de greutate al navei se deplasează din $G(x_G, 0, \overline{KG})$ în $G_1(x_{G1}, 0, \overline{KG}_1)$. Deplasarea centrului de greutate rezultă din deplasările elementare $\delta x_G, \delta y_G, \delta(\overline{KG})$. Aceste deplasări elementare se determină egalând momentele statice ale mărimii greutăţii ambarcate faţă de cele trei planuri (transversal, longitudinal şi orizontal) ce trec prin G, cu momentele statice ale noului deplasament $\Delta_1 = \Delta + q$ aplicat în G_1 faţă de aceleaşi planuri.

Astfel, pentru determinarea lui δx_G se scrie

$$q(x - x_G) = (\Delta + q)\delta x_G \Rightarrow \delta x_G = \pm \frac{q}{\Delta \pm q}(x - x_G) \quad [m].$$

$$x_{G1} = x_G + \delta x_G = x_G \pm \frac{q}{\Delta \pm q}(x - x_G) \quad [m]$$

Analog se determină δy_G, $\delta(\overline{KG})$, respectiv y_{G1}, $\overline{KG}_1$:

$$\delta y_G = \pm \frac{qy}{\Delta \pm q} \qquad [m]$$

$$y_{G1} = y_G + \delta y_G = y_G \pm \frac{qy}{\Delta \pm q} \qquad [m]$$

$$\delta(\overline{KG}) = \pm \frac{q}{\Delta \pm q}(z - \overline{KG}) \qquad [m]$$

$$\overline{KG}_1 = \overline{KG} + \delta(\overline{KG}) = \overline{KG} \pm \frac{q}{\Delta \pm q}(z - \overline{KG}) \qquad [m].$$

Pentru ca plutirea W_1L_1 rezultată în urma operaţiunii de ambarcare (debarcare) să fie dreaptă este necesar să se respecte a doua condiţie de echilibru static care presupune:

$$x_{B1} = x_{G1};\ y_{B1} = y_{G1}.$$

Astfel că avem:

$$x = x_F;\ y = 0.$$

La ambarcarea (debarcarea) greutăţii de mărime *q*, înclinările longitudinale şi transversale pot fi evitate dacă punctul de ambarcare (debarcare) este dispus pe o verticală ce trece prin centrul plutirii iniţiale.

Ambarcarea (debarcarea) de greutăţi mari

Greutatea mare este considerată acea greutate care ambarcată la bord produce o modificare de pescaj astfel încât bordurile nu pot fi considerate verticale pe toată lungimea navei.

Modificarea pescajului mediu şi poziţiei centrului de carenă în cazul ambarcării (debarcării) greutăţilor mari se determină cu ajutorul diagramei de carene drepte. În acest scop se utilizează graficele funcţiilor: $\Delta = f_3(z)$, $x_B = f_5(z)$, $\overline{KB} = f_6(z)$ şi se procedează astfel:

- ţinând cont de scara graficului funcţiei $\Delta = f_3(z)$, se măsoară, pe axa absciselor, segmentul care materializează deplasamentul iniţial Δ, iar prin punctul rezultat din intersecţia verticalei duse la capătul acestui segment cu graficul funcţiei, se trasează o dreaptă orizontală ce defineşte pe axa Oz pescajul iniţial T;
- segmentele măsurate pe dreapta orizontală definită mai înainte, între axa Oz şi graficul funcţiei $x_B = f_5(z)$ respectiv $\overline{KB} = f_6(z)$, definesc la scările celor două funcţii coordonatele iniţiale x_B, $\overline{KB}$ ale centrului de carenă;
- după ambarcarea greutăţii de mărime *q*, deplasamentul navei devine: $\Delta_1 = \Delta + q$;
- se măsoară pe axa absciselor, la scara graficului funcţiei $\Delta = f_3(z)$, segmentul ce materializează deplasamentul Δ_1, căruia îi corespund: $T_1, x_{B1}, \overline{KB}_1$;
- variaţia pescajului mediu şi deplasările centrului de carenă sunt:

$$\delta T = T_1 - T;\ \delta x_B = x_{B1} - x_B;\ \delta\left(\overline{KB}\right) = \overline{KB}_1 - \overline{KB}.$$

2.6. Influenţa greutăţii specifice a apei asupra pescajului

Greutatea specifică a apei depinde de conţinutul de săruri şi de temperatură, deci ea variază de la o zonă de navigaţie la alta.

Trecerea navei dintr-o zonă de navigaţie în alta, însoţită de schimbarea greutăţii specifice a apei, duce la modificarea pescajului. În continuare se determină variaţia pescajului navei ca urmare a trecerii dintr-o apă cu greutate specifică γ, într-o apă cu greutate specifică γ_1.

Întrucât pe timpul trecerii deplasamentul navei nu se modifică, rezultă:

$$\Delta = \Delta_1.$$

Conform primei condiţii de echilibru se scrie:

$$\Delta = \gamma V;\ \Delta_1 = \gamma_1 \cdot V_1.$$

Astfel, avem:

$$\gamma V = \gamma_1 \cdot V_1.$$

Dacă $\gamma > \gamma_1$, atunci $V < V_1$ şi avem: $V_1 = V + \delta V$.

$$V(\gamma - \gamma_1) = \gamma_1 \cdot \delta V \Rightarrow V(\gamma - \gamma_1) = \gamma_1 \cdot A_W \cdot \delta T \Rightarrow \delta T = \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_1} \cdot \frac{V}{A_W} \quad [m].$$

$$\frac{\delta T}{T} = \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_1} \cdot \frac{V}{A_W \cdot T} = \frac{\gamma - \gamma_1}{\gamma_1} \cdot C_{VP} \quad [m]$$

unde C_{VP} este coeficientul de fineţe vertical prismatic corespunzător situaţiei iniţiale.

La trecerea navei într-o apă cu greutate specifică mai mică $(\gamma_1 < \gamma)$ variaţia pescajului este pozitivă, iar pescajul creşte.

La trecerea navei într-o apă cu greutate specifică mai mare $(\gamma_1 > \gamma)$ variaţia pescajului este negativă, iar pescajul scade.

2.7. Rezerva de flotabilitate. Marca de bord liber. Scări de pescaje.

Rezerva de flotabilitate este definită de volumul corpului etanş situat deasupra plutirii de plină încărcare. Ea depinde de înălţimea bordului liber.

Marca de bord liber este un inel de 25 mm grosime şi 300 mm diametru exterior tăiat de o bandă orizontală de 25 mm lăţime şi 450 mm lungime, a cărei margine superioară trece prin centrul inelului. Centrul inelului trebuie să fie situat la jumătatea lungimii de calcul la o distanţă pe verticală de la marginea superioară a liniei punţii egală cu bordul liber minim de vară.

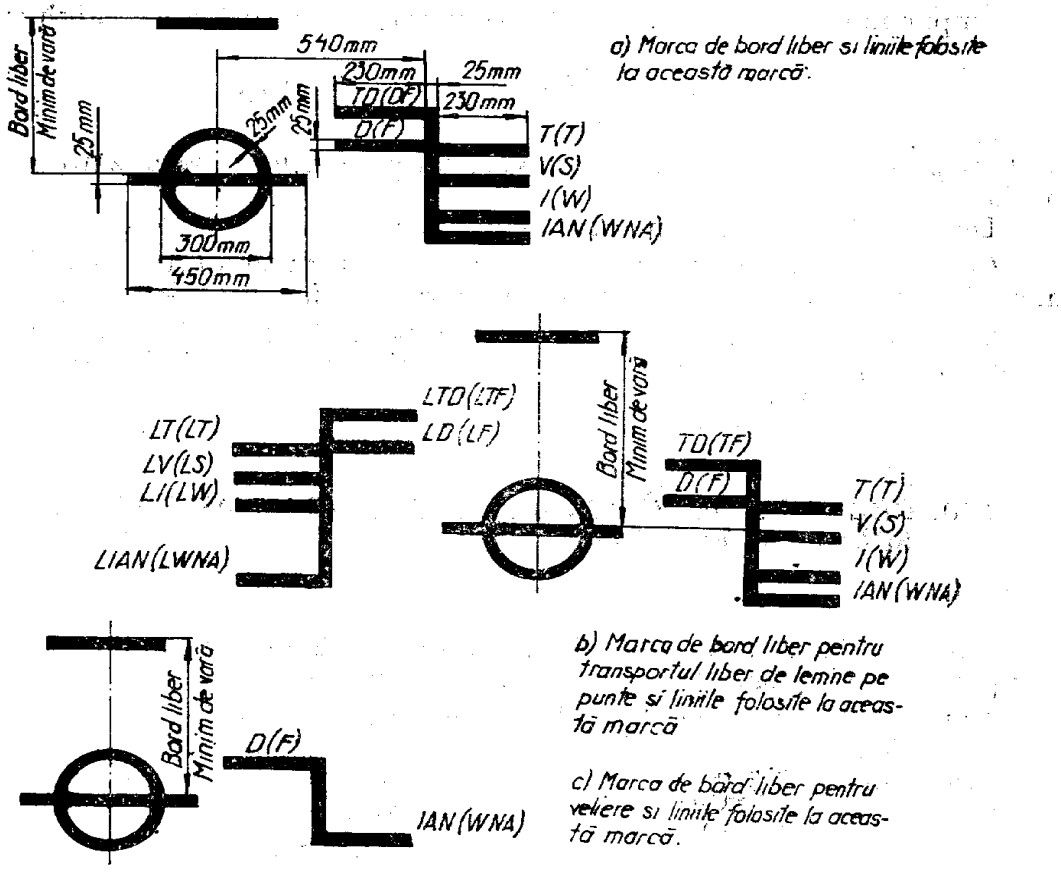


Fig. 4.48

Marca de bord liber este însoţită de scara liniilor de încărcare.

Scara liniilor de încărcare este definită de liniile orizontale având 25 mm lăţime şi 230 mm lungime, care reglementează bordul liber pentru principalele zone de navigaţie.

Notaţiile înscrise în dreptul liniilor ce definesc scara de încărcare au următoarele semnificaţii:

- V (S) este linia de încărcare de vară (summer freeboard) şi corespunde benzii care taie inelul mărcii;
- I (W) este linia de încărcare de iarnă (winter freeboard);

- IAN (WNA) este linia de încărcare de iarnă în Atlanticul de Nord (winter North Atlantic freeboard);
- T (T) este linia de încărcare tropicală (tropical freeboard);
- D (F) este linia de încărcare de vară în apă dulce (fresh water freeboard);
- TD (TF) este linia de încărcare tropicală în apă dulce (tropical fresh water freeboard).

La navele care transportă lemn pe punte, scara liniilor de încărcare obişnuită este dublată de o scară a liniilor de încărcare pentru lemn, dispusă în partea stângă a mărcii de bord liber.
Inelul, liniile şi literele trebuie să fie de culoare albă sau galbenă dacă se aplică pe fond închis şi neagră pe fond deschis.
Scările de pescaj sunt gradaţiile aplicate pe bordaj la prova şi pupa navei care permit citirea pescajului la extremităţi.

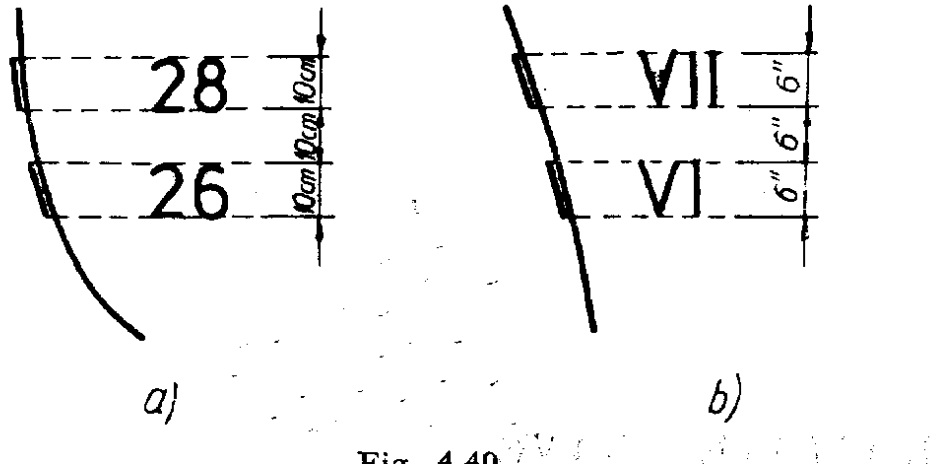


Fig. 4.40

Se întâlnesc două sisteme de marcare a scărilor de pescaje:
- sistemul internaţional care prevede marcarea pescajului din 2 în 2 dm, cu cifre arabe având înălţimea de 1 dm;
- sistemul englez care prevede marcarea pescajului în picioare engleze, cu cifre romane având înălţimea de 6 ţoli, adică de o jumătate de picior.

3. **Stabilitatea navei**

Stabilitatea este proprietatea navei de a reveni la poziţia iniţială de echilibru, după dispariţia cauzei care a determinat scoaterea ei din această poziţie.
În studiul teoretic al stabilităţii se utilizează sistemul de axe de coordonate O*xyz*.
Nava, considerată ca un solid rigid raportat la sistemul de axe de coordonate Oxyz, poate să efectueze 6 mişcări, deci are 6 grade de libertate, adică:
- mişcarea după axa longitudinală;
- mişcarea după axa transversală;
- mişcarea după axa verticală;
- mişcarea de rotaţie în jurul unei axe verticale;
- mişcarea de rotaţie în jurul unei axe longitudinale;
- mişcarea de rotaţie în jurul unei axe transversale.

Mişcarea navei după direcţia axei longitudinale sau transversale şi mişcarea de rotaţie a navei în jurul unei axe verticale nu determină modificarea condiţiilor iniţiale de echilibru.

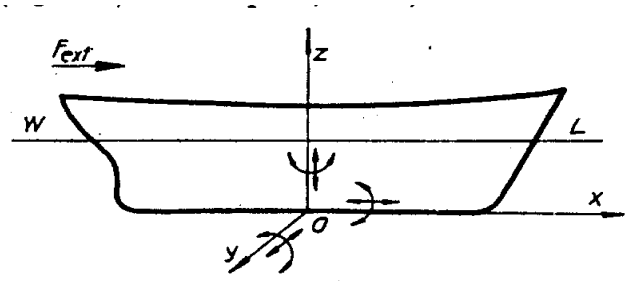
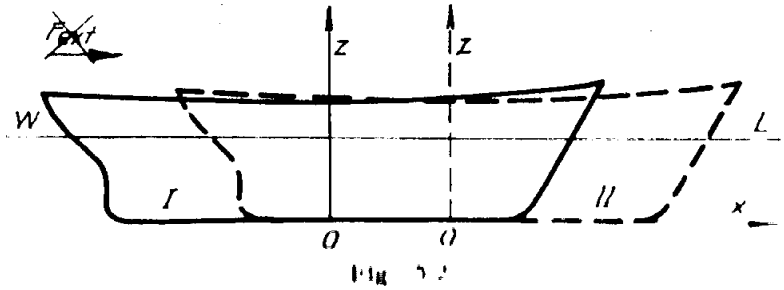


Fig. 5.1



Mişcarea navei după direcţia axei verticale, sub acţiunea unei forţe exterioare, determină o nouă poziţie de echilibru definită de asemenea de o plutire dreaptă. Dacă este asigurată etanşarea corpului, la dispariţia acţiunii forţei exterioare, nava revine întotdeauna la poziţia iniţială de echilibru definită de plutirea dreaptă WL.

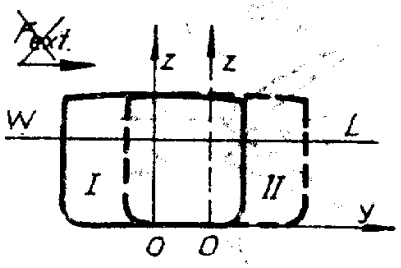


Fig. 5.3

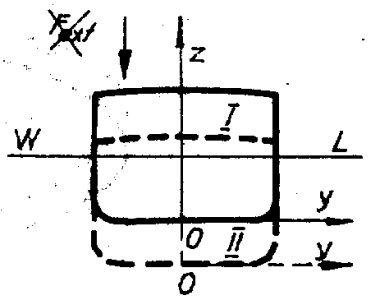


Fig. 5.4

Mişcările de rotaţie în jurul unor axe longitudinale şi transversale duc la modificarea celei de-a doua condiţii de echilibru şi la apariţia momentelor stabilităţii.
La încetarea acţiunii momentelor exterioare, nava poate să revină la poziţia iniţială de echilibru, să rămână în poziţia de echilibru înclinat sau să se încline în sensul imprimat iniţial.
Stabilitatea studiază fenomenele ce însoţesc înclinările navei în plan transversal şi longitudinal.

3.1. Stabilitatea navei la unghiuri mici de înclinare (<15º)

În studiul stabilităţii iniţiale sinusul şi tangenta unghiului de înclinare se aproximează cu valoarea unghiului exprimată în radiani, iar cosinusul cu 1.

Înclinări şi plutiri izocarene. Teorema lui Euler. Teorema deplasării centrului de carenă.

Pe timpul înclinărilor deplasamentul rămâne constant şi corespunde situaţiei de încărcare a navei. De asemenea, volumul carenei rămâne constant.
Înclinările navei, cărora le corespunde acelaşi volum de carenă, se numesc înclinări izocarene.

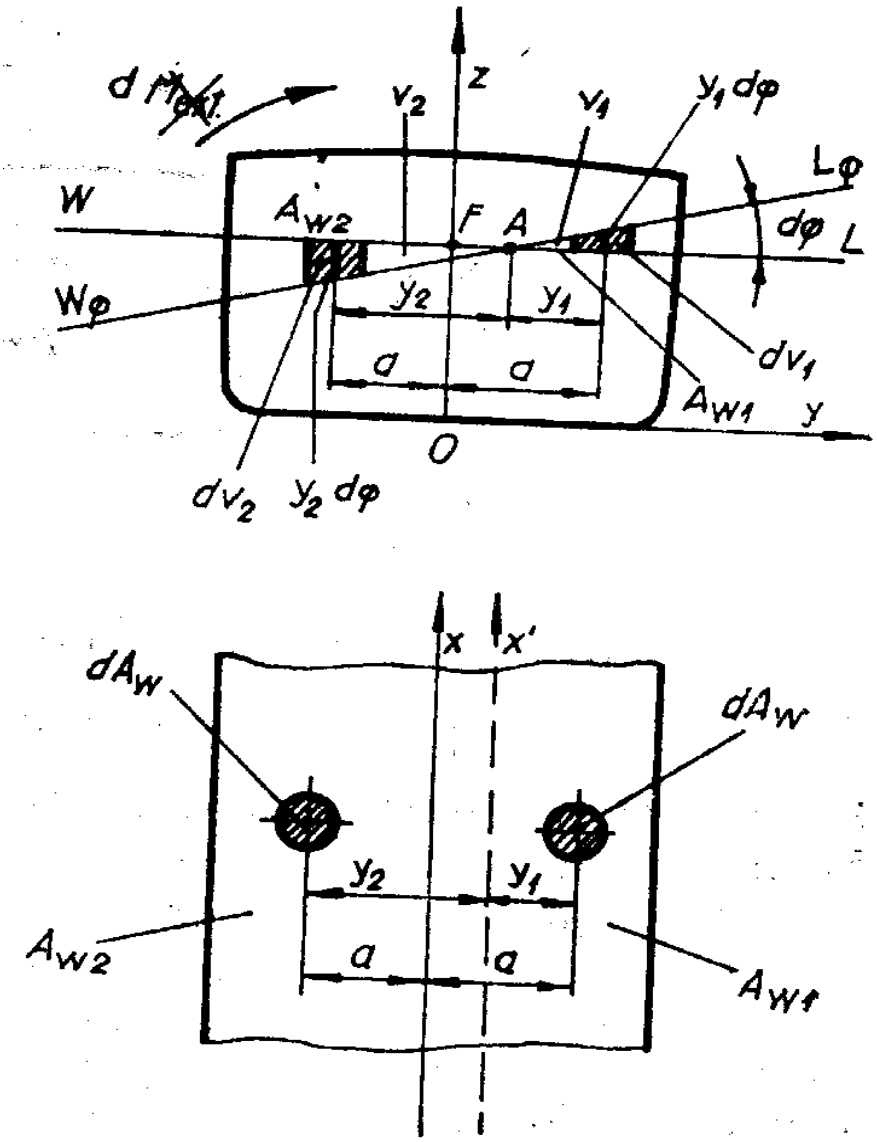


Fig. 5.8

Plutirile corespunzătoare înclinărilor izocarene se numesc plutiri izocarene.
Teorema lui Euler: Două plutiri izocarene succesive, pentru un unghi infinit de mic de înclinare, se intersectează după o dreaptă ce trece prin centrele lor geometrice.
Pentru demonstraţie se consideră nava reprezentată prin secţiunea transversală ce include centrul F al plutirii iniţiale drepte WL, precum şi o porţiune din suprafaţa acestei plutiri. De menţionat că $F \in Ox,\ F \in Oz$. Fie dM_{ext}, mărimea momentului exterior, care produce înclinarea definită de unghiul infinit mic $d\varphi$. Acestei înclinări îi corespunde plutirea $W_\varphi L_\varphi$.

Se presupune, prin reducere la absurd, că plutirile nu se intersectează după dreapta ce trece prin F, ci după o axă $x'x'$ ce trece prin punctul $A \notin Oz$. Volumul v_1, care intră

în apă în urma înclinării, se numeşte volumul ongletului imers. Volumul v_2, care iese din apă în urma înclinării navei, se numeşte volumul ongletului emers.
Avem:

$$v_1 = v_2 .$$

Se notează cu A_{W1}, A_{W2} ariile părţii suprafeţei plutirii din dreapta, respectiv din stânga axei $x'x'$. Pentru calculele volumelor v_1, v_2 se consideră cilindrii elementari situaţi la distanţele y_1, y_2 faţă de $x'x'$, la aceeaşi distanţă *a* faţă de O*x* şi având bazele de arie dA_W.

$$v_1 = \int_{A_{W1}} y_1 \, d\varphi dA_W ; \; v_2 = \int_{A_{W2}} y_2 \, d\varphi dA_W \Rightarrow \int_{A_{W1}} y_1 \, dA_W = \int_{A_{W2}} y_2 \, dA_W$$

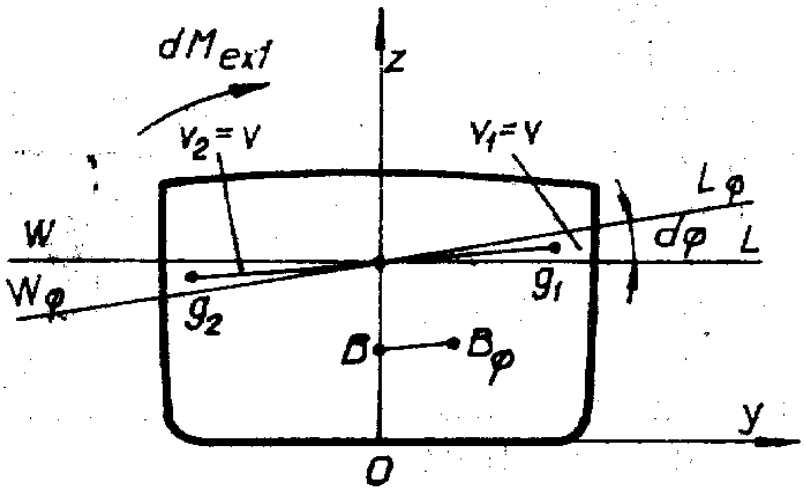


Fig. 5.9

Egalitatea este adevărată dacă: $y_1 = y_2 = a$; $A_{W1} = A_{W2}$.
Deci, dreapta de intersecţie trece prin punctul F, care în cazul înclinării infinit mici este centrul geometric al ambelor plutiri.
Fie acum nava reprezentată în ¤, având poziţia iniţială dreapta WL şi centrul de carenă B. Sub acţiunea momentului exterior, de mărime dM_{ext}, ea se înclină în plan transversal cu unghiul $d\varphi$. În urma înclinării plutirea navei devine $W_\varphi L_\varphi$, iar centrul de carenă se deplasează în B_φ. Volumele celor două onglete sunt egale, deci $v_1 = v_2 = v$. Deplasarea centrului de carenă este cauzată de deplasarea volumului *v* din centrul geometric g_2 al ongletului emers în centrul geometric g_1 al ongletului imers.
Teoremă: La înclinările infinit mici ale navei, centrul de carenă se deplasează după o direcţie paralelă cu dreapta ce trece prin centrele geometrice g_1, g_2 ale celor două onglete şi are mărimea proporţională cu $\overline{g_1 g_2}$, respectiv cu volumul *v* ce se deplasează din ongletul emers în ongletul imers şi invers proporţională cu volumul carenei V.

$$\overline{BB}_\varphi = \frac{v}{V} \cdot \overline{g_2 g_1}$$

Linia descrisă de centrul de carenă la înclinarea navei într-un plan oarecare se numeşte linia centrelor de carenă.

Proiecţia pe planul de înclinare a liniilor centrelor de carenă se numeşte curba centrelor de carenă.
Proprietate: Tangenta dusă într-un punct B_φ la curba centrelor de carenă este paralelă cu plutirea care admite pe B_φ drept centru de carenă.

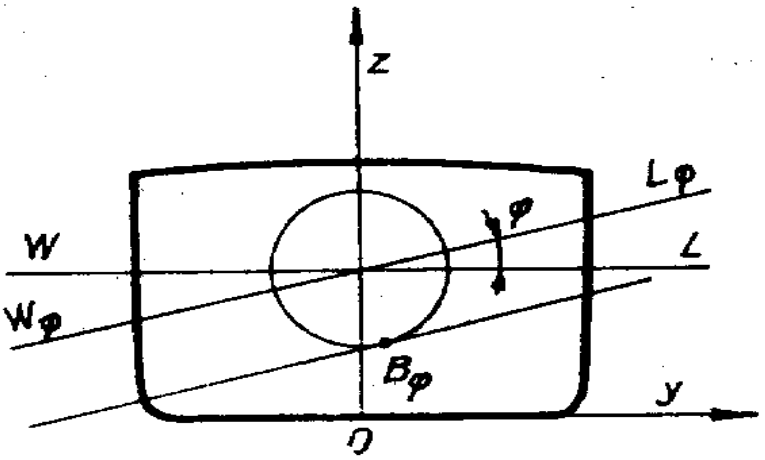
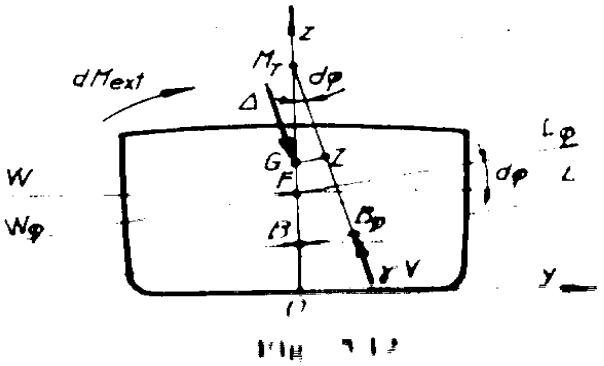


Fig. 5.10

Teoremele şi această ultimă proprietate enunţate pentru înclinările în plan transversal, sunt valabile şi în cazul înclinărilor în plan longitudinal.
Metacentre. Raze metacentrice. Momente ale stabilităţii sau de redresare. Înălţimi metacentrice.

♦ Cazul înclinărilor transversale

Se consideră nava reprezentată prin secţiunea sa în ¤, având poziţia iniţială dreaptă WL, căreia îi corespunde centrul de carenă B. Fie dM_{ext}, mărimea momentului exterior care
produce înclinarea definită de unghiul infinit mic $d\varphi$. Acestei înclinări îi corespunde plutirea $W_\varphi L_\varphi$. Centrul de carenă se deplasează din B în B_φ descriind curba centrelor de carenă. Se duc tangentele la curba centrelor de carenă în B şi B_φ. Normalele la aceste tangente în B şi B_φ se intersectează în punctul M_T denumit metacentru transversal.
Metacentrul transversal M_T este centrul de curbură al curbei centrelor de carenă pentru înclinările transversale.



Poziţia metacentrului transversal este definită de cota $\overline{KM}_T$.

Cota $\overline{KM}_T$ a metacentrului transversal este distanţa de la M_T la PB.

Înclinarea navei fiind mică, arcul $\overset{\frown}{BB}_\varphi$ se aproximează cu coarda, care se consideră confundată cu tangenta la curba centrelor de carenă în B_φ.

Raza metacentrică transversală $\overline{BM}_T$ este distanţa de la centrul de carenă la metacentrul transversal sau altfel spus este raza de curbură a curbei centrelor de carenă corespunzătoare unei înclinări transversale infinit mici.

$\overline{BM}_T$ se calculează din triunghiul $M_T BB_\varphi$, care este dreptunghic:

$$\sin d\varphi \approx d\varphi = \frac{\overline{BB}_\varphi}{\overline{BM}_T} = \frac{dy_B}{\overline{BM}_T} = \frac{I_L \cdot d\varphi}{V \cdot \overline{BM}_T} \Rightarrow \overline{BM}_T = \frac{I_L}{V} \quad [m].$$

Prin deplasarea centrului de carenă din B în B_φ, se modifică direcţiile de acţiune ale forţei de împingere Arhimede şi de deplasament, luând naştere cuplul care defineşte momentul stabilităţii transversale. Pentru înclinarea infinit mică:

$$dM_S = \Delta \overline{GZ},$$

unde $\overline{GZ}$ este braţul cuplului şi se calculează din triunghiul dreptunghic $M_T GZ$:

$$\overline{GZ} = \overline{GM}_T \cdot \sin d\varphi \cong \overline{GM}_T \cdot d\varphi.$$

Înălţimea metacentrică transversală $\overline{GM}_T$ este distanţa de la metacentrul transversal, corespunzător înclinărilor nule, la centrul de greutate.

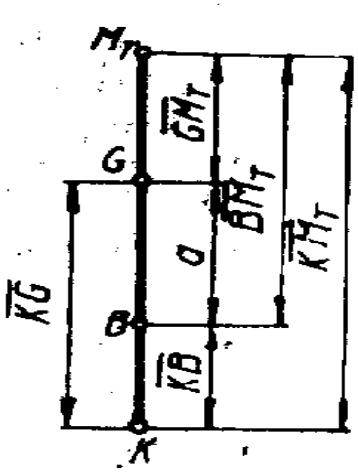


Fig. 5.13

$$\overline{GM}_T = \overline{KM}_T - \overline{KG} = \overline{BM}_T + \overline{KB} - \overline{KG} = \overline{BM}_T - (\overline{KG} - \overline{KB}) = \overline{BM}_T - a \qquad [m],$$

în care: $a = \overline{KG} - \overline{KB}$ este distanţa de la centrul de carenă la centrul de greutate pentru înclinarea nulă.

$$dM_S = \Delta \cdot \overline{GM}_T \cdot d\varphi = \Delta \cdot \left(\overline{BM}_T - a\right) \cdot d\varphi \qquad [kNm].$$

♦ Cazul înclinărilor longitudinale

Se consideră nava reprezentată prin secţiunea sa în PD, având poziţia iniţială dreaptă WL, căreia îi corespunde centrul de carenă B. Fie $dM_{ext\,\theta}$, mărimea momentului exterior care produce înclinarea definită de unghiul $d\theta$. Acestei înclinări în

corespunde plutirea $W_\theta L_\theta$. Centrul de carenă se deplasează din B în B_θ, descriind curba centrelor de carenă în plan longitudinal.
Metacentrul longitudinal M_L este centrul de curbură al curbei centrelor de carenă pentru înclinările longitudinale şi are poziţia definită prin cota $\overline{KM}_L$.

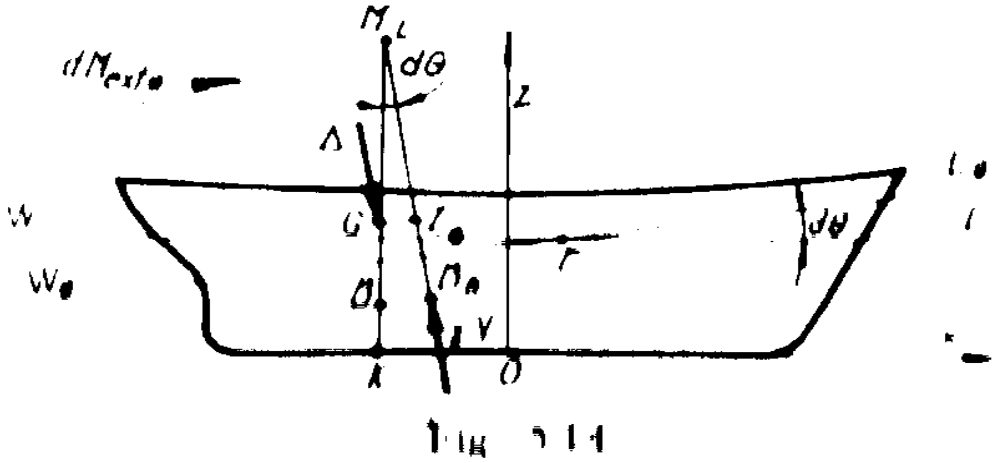


Fig. 5.11

Raza metacentrică longitudinală $\overline{BM}_L$ este distanţa de la centrul de carenă la metacentrul longitudinal sau, altfel spus, este raza de curbură a curbei centrelor de carenă, corespunzătoare unei înclinări longitudinale infinit mici.

$$\overline{BM}_L = \frac{I_T}{V} \quad [m]$$

$$dM_{S\theta} = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot d\theta = \Delta \cdot \left(\overline{BM}_L - a\right) \cdot d\theta \qquad [kNm],$$

unde $\overline{GM}_L$ este înălţimea metacentrică longitudinală.
Înălţimea metacentrică longitudinală $\overline{GM}_L$ este distanţa de la metacentrul longitudinal, corespunzător înclinării nule, la centrul de greutate.

$$\overline{GM}_L = \overline{KM}_L - \overline{KG} = \overline{BM}_L + \overline{KB} - \overline{KG} = \overline{BM}_L - \left(\overline{KG} - \overline{KB}\right) = \overline{BM}_L - a \quad [m].$$

Momentul stabilităţii de formă şi de greutate. Formulele metacentrice ale stabilităţii iniţiale. Momentul unitar de bandă şi de asietă. Scara de încărcare.

♦ Momentul stabilităţii de formă şi de greutate. Cazul înclinărilor transversale.
Se consideră nava reprezentată prin secţiunea sa în ¤, având plutirea iniţială dreaptă WL şi centrul de carenă B. Fie dM_{ext}, mărimea momentului exterior care înclină nava în plan transversal cu unghiul infinit mic $d\varphi$. Plutirea definită de acest unghi este $W_\varphi L_\varphi$. Fenomenul apariţiei momentului stabilităţii transversale se descompune ipotetic în două etape.

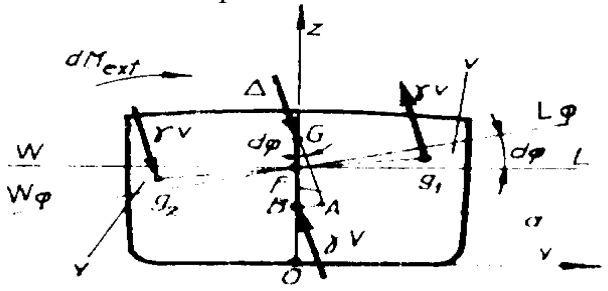


Fig. 5.23

În prima etapă se presupune că, în urma înclinării navei, volumul carenei nu-şi modifică forma, deci centrul de carenă rămâne în B. Cele două forţe, una de deplasament, aplicată în G şi cealaltă de împingere Arhimede, aplicată în B, acţionează perpendicular pe $W_\varphi L_\varphi$ dând naştere cuplului care defineşte momentul stabilităţii de greutate:

$$dM_{Sg} = -\Delta \cdot a \cdot \sin d\varphi \cong -\Delta \cdot a \cdot d\varphi .$$

În a doua etapă se consideră că pe nava deja înclinată se produce deplasarea volumului de apă *v*, din centrul g_2 al ongletului emers în centrul g_1 al ongletului imers. Această deplasare determină apariţia a două forţe de mărime γv, aplicate în g_1, g_2, perpendiculare pe $W_\varphi L_\varphi$ şi de semne contrare. Cuplul celor două forţe defineşte momentul stabilităţii de formă:

$$dM_{Sf} = \gamma v \cdot \overline{g_2 g_1} .$$

$$\overline{BB}_\varphi = \frac{v}{V}\overline{g_2 g_1} = dy_B = \frac{I_L}{V} d\varphi$$

$$v \cdot \overline{g_2 g_1} = V \cdot \overline{BM}_T \, d\varphi$$

$$dM_{Sf} = \gamma V \cdot \overline{BM}_T d\varphi = \Delta \cdot \overline{BM}_T \, d\varphi$$

$$dM_S = dM_{Sf} + dM_{Sg} = \Delta\left(\overline{BM}_T - a\right)d\varphi$$

♦ Momentul stabilităţii de formă şi de greutate. Cazul înclinărilor longitudinale.

Se procedează similar şi se obţine:

$$dM_{Sg\theta} = -\Delta \cdot a \cdot d\theta$$

$$dM_{Sf\theta} = \Delta \cdot \overline{BM}_L \cdot d\theta$$

$$dM_{S\theta} = dM_{Sf\theta} + dM_{Sg\theta} = \Delta\left(\overline{BM}_L + a\right)d\theta .$$

Momentul stabilităţii de formă este parte componentă a momentului stabilităţii şi este definit de cuplul de forţe ce apare ca urmare a deplasării volumului de apă *v*, din ongletul emers în ongletul imers.

Momentul stabilităţii de greutate este parte componentă a momentului stabilităţii şi este definit de cuplul forţelor de deplasament şi împingere Arhimede, care acţionează perpendicular pe plutirea înclinată, păstrându-şi punctele de aplicaţie corespunzătoare plutirii iniţiale.

♦ Formulele metacentrice ale stabilităţii

Pentru unghiuri mici finite $\delta\varphi, \delta\theta \in [0°; 15°]$, avem:

$$\delta M_S = \Delta \cdot \overline{GM}_T \cdot \delta\varphi = \Delta\left(\overline{BM}_T - a\right)\delta\varphi \qquad [kNm]$$

$$\delta M_{S\theta} = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \delta\theta = \Delta\left(\overline{BM}_L - a\right)\delta\theta \qquad [kNm]$$

În unele situaţii, când $\delta\varphi, \delta\theta \in [15°, 25°]$, momentele stabilităţii se pot calcula cu următoarele formule fără a se aproxima sinusul cu valoarea unghiului exprimată în radiani şi astfel avem:

$$\delta M_S = \Delta \cdot \overline{GM}_T \cdot \sin\varphi = \Delta\left(\overline{BM}_T - a\right)\sin\varphi \qquad [kNm]$$

$$\delta M_{S\theta} = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \sin\theta = \Delta\left(\overline{BM}_L - a\right)\sin\theta \qquad [kNm]$$

♦ Moment unitar de bandă şi de asietă. Scara de încărcare.

Momentul unitar de bandă este momentul exterior care înclină nava în plan transversal cu un unghi $\varphi = 1° = \frac{1}{57,3}$ radiani.

Pentru stabilirea formulei de calcul a momentului unitar de bandă se pune condiţia de echilibru, corespunzătoare poziţiei înclinate definite de unghiul φ:

$$M_{ext} = M_S = \Delta \cdot \overline{GM}_T \cdot \varphi .$$

Dacă în această formulă se face $\varphi = 1° = \frac{1}{57,3}$ radiani se obţine:

$$M_{1°} = \Delta \cdot \overline{GM}_T \Big/ 57,3 \ [kNm/grad].$$

Momentul unitar de asietă este momentul exterior, care înclină nava în plan longitudinal producându-i o asietă $\Delta T = 1cm = 0,01m$.

Asieta navei ΔT este diferenţa dintre pescajele prova şi pupa.

Pentru stabilirea formulei de calcul a momentului unitar de asietă se pune condiţia de echilibru, corespunzătoare poziţiei înclinate definite de unghiul θ:

$$M_{ext\,\theta} = M_{S\theta} = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \theta .$$

Se observă că:

$$\tan\theta \approx \theta = \frac{T_{pv} - T_{pp}}{L_{WL}} = \frac{\Delta T}{L_{WL}} \Rightarrow \theta = \frac{0,01}{L_{WL}} .$$

Avem:

$$M_{1cm} = 0,01 \cdot \Delta \cdot \frac{\overline{GM}_L}{L_{WL}} \qquad [kNm/cm]$$

Scara de încărcare este un tabel în care sunt trecute valorile deplasamentului Δ, deplasamentului Δ_{dw}, deplasamentului unitar q_{1cm}, momentului unitar de bandă $M_{1°}$ şi momentului unitar de asietă M_{1cm} pentru diferite pescaje cuprinse între LB şi CWL.

Influenţa greutăţii specifice a apei asupra stabilităţii iniţiale şi asietei navei

Dacă $\gamma_1 > \gamma$ şi diferenţa dintre cele două greutăţi specifice este infinit mică, adică $\gamma - \gamma_1 = -d\gamma$, atunci avem:

$$dT = -\frac{d\gamma}{\gamma} \cdot \frac{V}{A_W} .$$

Variaţia dV a volumului carenei corespunzătoare lui dT este:

$$dV = A_W \cdot dT = -\frac{d\gamma}{\gamma} \cdot V .$$

- Influenţa greutăţii specifice a apei asupra stabilităţii iniţiale. Cazul înclinărilor transversale

Mărimea asupra căreia se manifestă influenţa greutăţii specifice a apei este înălţimea metacentrică transversală.

Prin diferenţiere avem:

$$d(\overline{GM}_T) = d(\overline{KM}_T) - d(\overline{KG}) .$$

Deoarece $\overline{KG} = \text{constant} \Rightarrow d(\overline{\text{KG}}) = 0$ şi relaţia de mai sus devine:

$$d(\overline{GM}_T) = d(\overline{KM}_T) .$$

$$d(\overline{GM}_T) = \frac{dV}{V}\left(T + \overline{FM}_D - \overline{KM}_T\right) = -\frac{d\gamma}{\gamma}\left(T + \overline{FM}_D - \overline{KM}_T\right) \qquad [m]$$

Discuţie:

Dacă $d\gamma > 0$, deci nava trece într-o apă cu greutate specifică mai mare, atunci:

- pentru $T + \overline{FM}_D > \overline{KM}_T \Rightarrow d(\overline{GM}_T) < 0$ şi stabilitatea iniţială transversală scade;
- pentru $T + \overline{FM}_D < \overline{KM}_T \Rightarrow d(\overline{GM}_T) > 0$ şi stabilitatea iniţială transversală creşte;
- pentru $T + \overline{FM}_D = \overline{KM}_T \Rightarrow d(\overline{GM}_T) = 0$ şi stabilitatea iniţială transversală rămâne neschimbată.

Dacă $d\gamma < 0$, deci nava trece într-o apă cu greutatea specifică mai mică, atunci:

- pentru $T + \overline{FM}_D > \overline{KM}_T \Rightarrow d(\overline{GM}_T) > 0$ şi stabilitatea iniţială transversală creşte;
- pentru $T + \overline{FM}_D < \overline{KM}_T \Rightarrow d(\overline{GM}_T) < 0$ şi stabilitatea iniţială transversală scade;
- pentru $T + \overline{FM}_D = \overline{KM}_T \Rightarrow d(\overline{GM}_T) = 0$ şi stabilitatea iniţială transversală rămâne neschimbată.

La variaţii mici ale pescajului bordurile se consideră verticale şi $\overline{FM}_D = 0$ şi avem:

$$\delta\left(\overline{GM}_T\right) = -\frac{\delta\gamma}{\gamma}(T - \overline{KM}_T) = -\frac{\delta\gamma}{\gamma}(T - \overline{BM}_T - \overline{KB}) \qquad [m].$$

Noua înălţime metacentrică transversală este:

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T + \delta(\overline{GM}_T) = \overline{GM}_T - \frac{\delta\gamma}{\gamma}(T - \overline{BM}_T - \overline{KB}) \qquad [m]$$

♦ Influenţa greutăţii specifice a apei asupra stabilităţii iniţiale. Cazul înclinărilor longitudinale

$$d(\overline{GM}_L) = -\frac{d\gamma}{\gamma}(T + \overline{FM}_D - \overline{KM}_L) \quad [m]$$

În ipoteza bordurilor verticale $\overline{FM}_D = 0$ şi dacă se ţine cont de faptul că $\overline{BM}_L >>> T - \overline{KB}$, avem:

$$\delta(\overline{GM}_L) = -\frac{\delta\gamma}{\gamma}(T - \overline{KM}_L) = -\frac{\delta\gamma}{\gamma}(T - \overline{BM}_L - \overline{KB}) \cong \frac{\delta\gamma}{\gamma} \cdot \overline{BM}_L \quad [m].$$

Noua înălţime metacentrică transversală este:

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) = \overline{GM}_L + \frac{\delta\gamma}{\gamma}\overline{BM}_L \qquad [m]$$

♦ Influenţa greutăţii specifice a apei asupra asietei navei

Variaţia infinit mică dV a volumului carenei determină deplasarea dx_B a centrului de carenă după direcţia axei O*x*. Ca urmare a acestei deplasări apare un moment exterior, de mărime $dM_{ext\theta} = \Delta \cdot dx_B$, care produce înclinarea navei în plan longitudinal cu unghiul $d\theta$. Înclinarea determină apariţia momentului stabilităţii $dM_{S\theta} = \Delta \cdot \overline{GM}'_L \cdot d\theta$.

La echilibru: $dM_{ext\theta} = dM_{S\theta}$, adică: $\Delta \cdot dx_B = \Delta \cdot \overline{GM}'_L \cdot d\theta \Rightarrow d\theta = \frac{dx_B}{\overline{GM}'_L}$.

Dacă $dx_B = \frac{dV}{V}(x_F - x_B) \Rightarrow d\theta = -\frac{d\gamma}{\gamma} \cdot \frac{x_F - x_B}{\overline{GM}'_L} \qquad [rad]$

În cazul înclinărilor mici finite avem:

$$\delta\theta = -\frac{\delta\gamma}{\gamma} \cdot \frac{x_F - x_B}{\overline{GM}'_L} \quad [rad]$$

Influenţa greutăţii specifice a apei asupra asietei ΔT a navei este:

$$\Delta T = L_{CWL} \cdot \delta\theta = -\frac{\delta\gamma \cdot (x_F - x_B) \cdot L_{CWL}}{\gamma \cdot \overline{GM'}_L} \qquad [m]$$

Deplasarea de greutăţi la bordul navei

Pe timpul deplasărilor de greutăţi, deplasamentul navei nu se modifică şi în consecinţă nici pescajul mediu.

♦ Deplasarea după direcţia axei longitudinale

Se consideră nava reprezentată prin secţiunea sa în PD, având plutirea iniţială dreaptă WL şi centrul de greutate situat în punctul G. Fie *q*, mărimea greutăţii care se deplasează după O*x* din punctul $A(x, y, z)$ în punctul $A'(x', y, z)$. Conform teoremei deplasării centrul de greutate al navei se deplasează din G în G' pe distanţa δx_G definită de:

$$\delta x_G = \frac{q}{\Delta}(x' - x) \qquad [m].$$

Deplasarea centrului de greutate este însoţită de modificarea poziţiei punctului de aplicaţie al forţei de deplasament. Acest fenomen se poate echivala prin reprezentarea a două forţe de mărime Δ: una aplicată în G având direcţia şi sensul axei Oz, iar alta aplicată în G' având direcţia şi sensul contrar axei Oz.

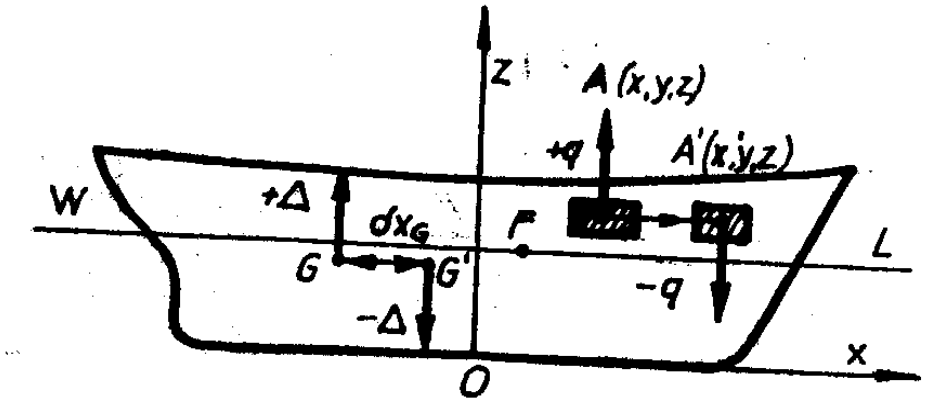


Fig. 5.33

Cele două forţe paralele, cu mărimile egale şi de semne contrare, dau naştere cuplului ce defineşte momentul exterior, care înclină nava în plan longitudinal cu unghiul $\delta\theta$. Mărimea momentului exterior este: $\delta M_{ext\theta} = \Delta \cdot \delta x_G = q(x' - x)$.

Prin înclinarea navei se deplasează centrul de carenă înspre partea înclinării, ceea ce duce la apariţia momentului stabilităţii longitudinale: $\delta M_{S\theta} = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \delta\theta$.

Se pune condiţia de echilibru: $\delta M_{ext\theta} = \delta M_{S\theta} \Rightarrow q(x' - x) = \Delta \cdot \overline{GM}_L \cdot \delta\theta \Rightarrow$

$$\Rightarrow \delta\theta = \frac{q(x' - x)}{\Delta \cdot \overline{GM}_L} \qquad [rad].$$

Cu valoarea unghiului $\delta\theta$ se poate trasa noua plutire $W_\theta L_\theta$ a navei.

Întrucât $\delta\theta$ este mic şi apar dificultăţi la măsurarea lui, mai uşor se poate trasa plutirea $W_\theta L_\theta$ dacă se cunosc pescajele la cele două extremităţi ale navei.

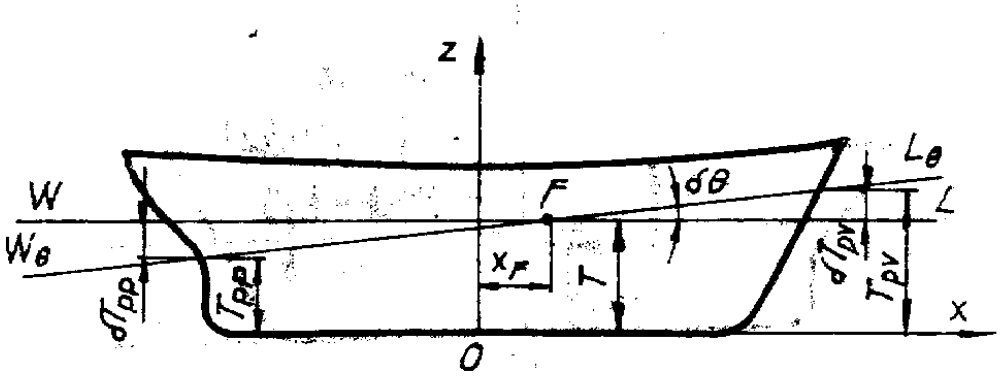


Fig. 5.34

$$T_{pv} = T + \delta T_{pv} = T + \left(\frac{L_{WL}}{2} - x_F\right)\delta\theta \quad [m]$$

$$T_{pp} = T + \delta T_{pp} = T - \left(\frac{L_{WL}}{2} + x_F\right)\delta\theta \quad [m]$$

sau:

$$T_{pv} = T + \left(\frac{L_{WL}}{2} - x_F\right)\frac{q(x'-x)}{\Delta \cdot \overline{GM}_L} \quad [m]$$

$$T_{pp} = T - \left(\frac{L_{WL}}{2} + x_F\right)\frac{q(x'-x)}{\Delta \cdot \overline{GM}_L} \quad [m]$$

Deplasarea greutăţilor la bord după direcţia axei longitudinale determină modificarea asietei navei.

♦ Deplasarea după direcţia axei transversale

Se consideră nava reprezentată prin secţiunea sa în ¤. Greutatea de mărime *q* se deplasează după Oy din $A(x, y, z)$ în punctul $A'(x, y', z)$.

Se determină deplasarea centrului de greutate:

$$\delta y_G = \frac{q}{\Delta}(y'-y) \quad [m]$$

şi unghiul de înclinare transversală:

$$\delta\varphi = \frac{q(y'-y)}{\Delta \cdot \overline{GM}_T} \quad [rad]$$

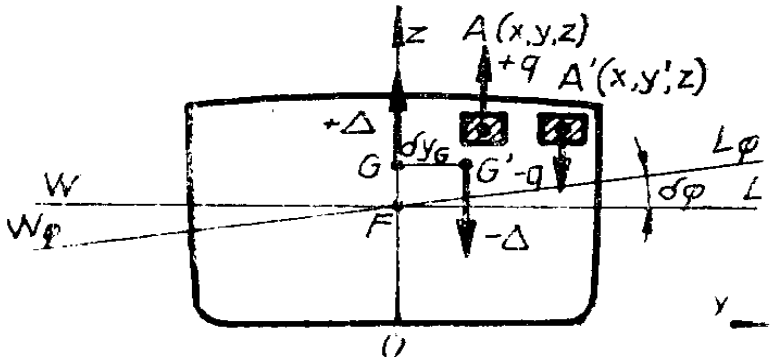


Fig. 5.35

Întrucât $\overline{GM}_T <<< \overline{GM}_L$, valoarea unghiului $\delta\varphi$ este mare comparativ cu $\delta\theta$ şi permite trasarea plutirii finale $W_\varphi L_\varphi$ cu destulă exactitate fără a mai fi nevoie să se calculeze pescajele în borduri.

Deplasarea greutăţilor la bord după direcţia axei transversale determină înclinarea navei în plan transversal.

♦ Deplasarea după direcţia axei verticale

Se consideră nava reprezentată prin secţiunile sale în PD şi ¤. Greutatea de mărime q se deplasează după Oz din $A(x,y,z)$ în punctul $A'(x,y,z')$.

Se obţine deplasarea centrului de greutate: $\delta\left(\overline{KG}\right)=\frac{q}{\Delta}(z'-z)$ $[m]$.

Întrucât modificarea poziţie punctului de aplicaţie al forţei de deplasament nu determină apariţia vreunui cuplu, în urma deplasării greutăţii după direcţia axei Oz nu se produce nici un fel de înclinare a navei. În schimb se modifică stabilitatea iniţială transversală şi longitudinală.

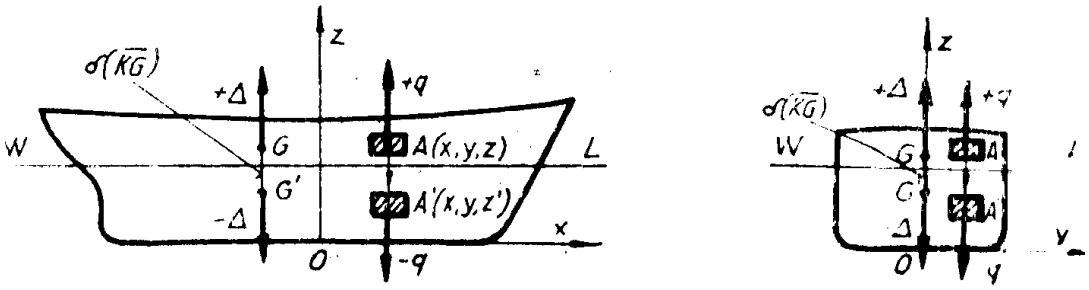


Fig. 5.36

Deoarece pe timpul deplasării greutăţii volumul carenei nu variază, metacentrul rămâne în poziţie iniţială, deci $\overline{KM}_T = \text{constant}$, $\overline{KM}_L = \text{constant}$. Se diferenţiază şi se obţine:

$d(\overline{GM}_T) = d(\overline{GM}_L) = -d(\overline{KG})$. Această relaţie este valabilă pentru deplasarea unei greutăţi infinit mici.

Pentru o greutate mică finită avem: $\delta(\overline{GM}_T) = \delta(\overline{GM}_L) = -\delta(\overline{KG}) \Rightarrow$

$$\Rightarrow \delta\left(\overline{GM}_T\right) = \delta(\overline{GM}_L) = -\frac{q}{\Delta}\left(z'-z\right) \qquad [m].$$

Astfel că avem noile înălţimi metacentrice:

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T + \delta\left(\overline{GM}_T\right) = \overline{GM}_T - \frac{q}{\Delta}\left(z'-z\right) \qquad [m]$$

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L + \delta\left(\overline{GM}_L\right) = \overline{GM}_L - \frac{q}{\Delta}\left(z'-z\right) \qquad [m]$$

La deplasarea unei greutăţi pe verticală în jos $(z' < z)$ stabilitatea iniţială a navei creşte, iar la deplasarea unei greutăţi pe verticală în sus $(z' > z)$ stabilitatea iniţială a navei scade.

Influenţa greutăţilor suspendate, rostogolitoare şi încărcăturilor lichide cu suprafeţe libere asupra stabilităţii iniţiale a navei.

♦ Influenţa greutăţilor suspendate

În practica exploatării navei pot apărea situaţii care impun transportul unor greutăţi suspendate. Prezenţa acestora la bord influenţează negativ stabilitatea iniţială a navei. Astfel se consideră nava reprezentată prin secţiunea sa în ¤, raportată la sistemul de

axe *y*Oz şi având plutirea iniţială dreaptă. Fie q mărimea unei greutăţi suspendate în punctul A prin intermediul firului de lungime $\overline{AC} = l$. Dacă greutatea nu ar fi suspendată, sub acţiunea momentului exterior de mărime dM_{ext}, nava se înclină cu unghiul $d\varphi$ care rezultă din condiţia de echilibru: $dM_{ext} = dM_S = \Delta \cdot \overline{GM}_T \cdot d\varphi$.

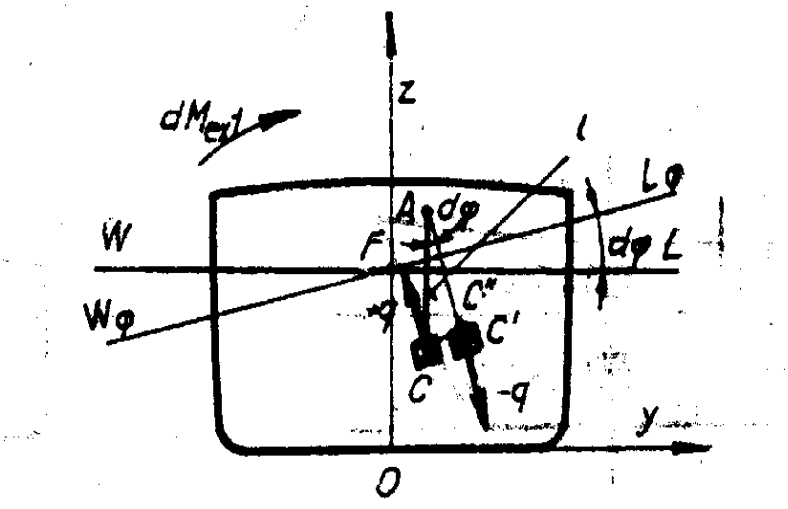


Fig. 5.37

Cum greutatea este suspendată, pe timpul înclinării, ea se deplasează pe distanţa $\overline{CC}'$ astfel încât $\overline{AC}' \perp W_\varphi L_\varphi$. Deplasarea greutăţii pe timpul înclinării este deci însoţită de modificarea punctului de aplicaţie şi direcţiei de acţiune a forţei $\vec{q}$. Acest fenomen poate fi echivalat prin reprezentarea a două forţe, de mărime *q,* perpendiculare pe $W_\varphi L_\varphi$, de semne contrare şi având punctele de aplicaţie în C respectiv C'. Cuplul celor două forţe defineşte un moment de înclinare a cărui mărime este:

$dM_q = q \cdot \overline{CC}' = q \cdot l \cdot \sin d\varphi \cong q \cdot l \cdot d\varphi$.

Înclinarea navei cu unghiul $d\varphi$, în prezenţa greutăţii suspendate, se obţine prin acţiunea unui moment exterior a cărui mărime $dM'_{ext} < dM_{ext}$, adică:

$dM'_{ext} = dM_{ext} - dM_q$.

Momentului exterior dM'_{ext} îi corespunde momentul stabilităţii $dM'_S < dM_S$. Întrucât $\Delta = \text{constant}$; $d\varphi = \text{constant}$, avem: $dM'_S = \Delta \cdot \overline{GM}'_T \cdot d\varphi$.

Se pune condiţia de echilibru: $dM'_{ext} = dM_{ext} - dM_q = dM'_S$.

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T - \frac{q \cdot l}{\Delta} = \overline{GM}_T + \delta\left(\overline{GM}_T\right) \qquad [m]$$

În cazul înclinărilor longitudinale se procedează la fel şi se obţine:

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L - \frac{q \cdot l}{\Delta} = \overline{GM}_L + \delta\left(\overline{GM}_L\right) \qquad [m]$$

Prezenţa la bord a unei greutăţi suspendate determină o variaţie negativă a înălţimilor metacentrice, proporţională cu mărimea greutăţii şi lungimea firului de suspensie. Reducerea influenţei negative asupra stabilităţii iniţiale, pe timpul transportului unor greutăţi suspendate, se realizează prin folosirea elementelor de suspensie de lungime cât mai mică.

♦ Influenţa greutăţilor rostogolitoare

Greutăţile rostogolitoare sunt greutăţile neamarate de la bordul navei.

Prezenţa greutăţilor rostogolitoare influenţează negativ stabilitatea iniţială. Această influenţă se evidenţiază considerând secţiunea transversală a unei nave cu bordurile duble şi dublul fund curbat. Fie greutatea de mărime *q* aflată iniţial în punctul C. În urma înclinării navei cu unghiul $d\varphi$ greutatea se rostogoleşte ajungând în punctul C'. Direcţiile de acţiune ale forţei $\vec{q}$ corespunzătoare poziţiei drepte şi înclinate a navei se intersectează în punctul A. Se notează cu $\rho = \overline{AC}$ raza de curbură a curbei $\overset{\frown}{CC'}$ descrise de centrul greutăţii rostogolitoare pe timpul înclinării infinit mici.

- pentru înclinările transversale:

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T - \frac{q \cdot \rho}{\Delta} = \overline{GM}_T + \delta(\overline{GM}_T) \quad [m].$$

- pentru înclinările longitudinale:

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L - \frac{q \cdot \rho_l}{\Delta} = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) \quad [m].$$

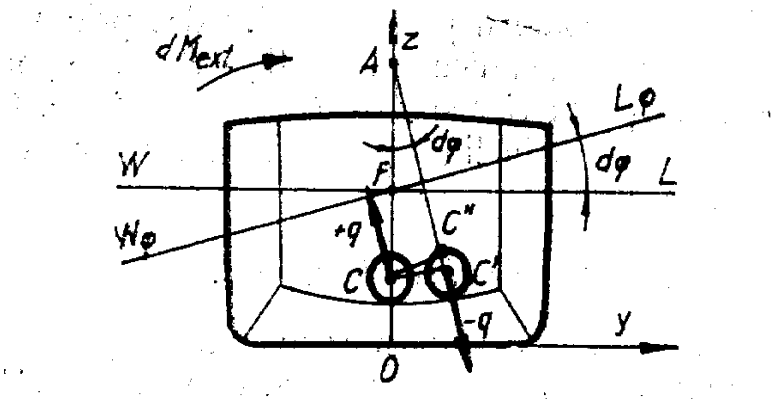


Fig. 5.38

Prezenţa la bord a unei greutăţi rostogolitoare determină o variaţie negativă a înălţimilor metacentrice, proporţională cu mărimea greutăţii şi cu raza de curbură a porţiunii din suprafaţa pe care se rostogoleşte.

Pentru determinarea punctului A necesar definirii lui ρ, în cazul rostogolirii unei greutăţi pe o suprafaţă plană, din centrul greutăţii aflate în contact cu bordul, se duce o normală la plutirea $W_\varphi L_\varphi$. Punctul A rezultă din intersecţia acestei normale cu normala dusă din C la WL.

Anularea influenţei negative a greutăţilor rostogolitoare asupra stabilităţii iniţiale se realizează prin amararea acestora.

♦ Influenţa încărcăturilor lichide cu suprafeţe libere

Încărcăturile lichide se întâlnesc la bordul tuturor categoriilor de nave.

Influenţa încărcăturilor lichide asupra stabilităţii navei se manifestă numai când compartimentele nu sunt complet pline, deci prezintă suprafeţe libere.

Se consideră o navă reprezentată prin secţiunea sa în ¤, având plutirea iniţială dreaptă WL. Fie *v*, volumul lichidului de greutate specifică γ_1 dintr-un tanc neumplut complet. Corespunzător plutirii iniţiale a navei, suprafaţa liberă este paralelă cu WL, iar forţa de greutate a lichidului are mărimea $\gamma_1 v$, punctul de aplicaţie în centrul geometric *c* al volumului *v*, direcţia şi sensul contrar axei Oz.

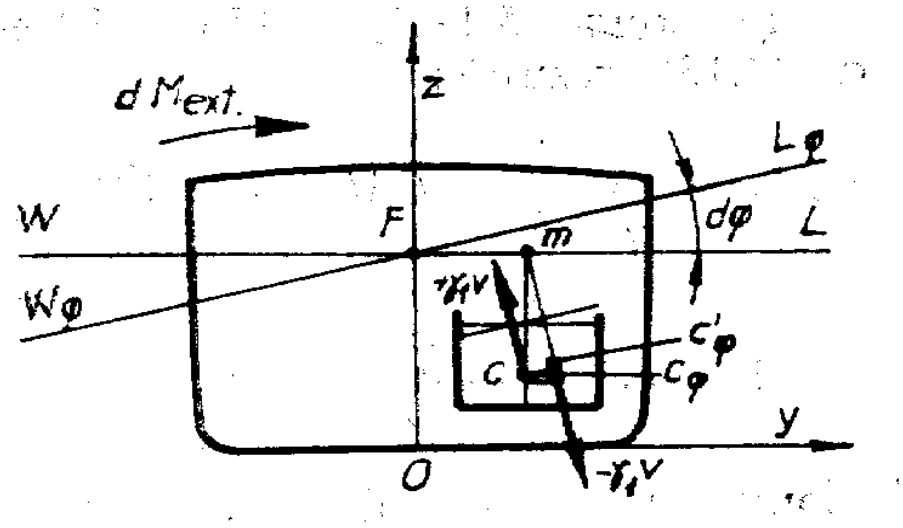


Fig 5.39

În lipsa suprafeţei libere, sub acţiunea momentului exterior, de mărime dM_{ext}, nava se înclină cu unghiul $d\varphi$ care rezultă din condiţia de echilibru.

În urma înclinării, dacă lichidul are suprafaţă liberă, aceasta îşi modifică poziţia devenind paralelă cu $W_\varphi L_\varphi$. Punctul de aplicaţie al forţei de greutate se deplasează din c în c_φ.

Se obţine momentul de înclinare:

$$dM_h = \gamma_1 \cdot v \cdot \overline{cc'}_\varphi = \gamma_1 \cdot v \cdot \overline{cm} \cdot d\varphi,$$

unde $\overline{cm}$ are semnificaţia de rază metacentrică transversală pentru volumul lichidului din tanc şi este: $\overline{cm} = \frac{i_L}{v}$, în care i_L este momentul de inerţie al suprafeţei libere a lichidului din tanc faţă de axa centrală longitudinală de inerţie proprie.

Astfel că: $dM_h = \gamma_1 \cdot i_L \cdot d\varphi$.

Înclinarea navei cu unghiul $d\varphi$, în prezenţa suprafeţei libere, se obţine prin acţiunea unui moment exterior a cărui mărime $dM'_{ext} < dM_{ext}$, adică:

$$dM'_{ext} = dM_{ext} - dM_h.$$

Momentului exterior definit mai sus îi corespunde momentul stabilităţii $dM'_S < dM_S$.

Se pune condiţia de echilibru:

$$dM'_{ext} = dM_{ext} - dM_h = dM'_S.$$

Se ajunge la relaţia:

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T - \frac{\gamma_1}{\gamma} \cdot \frac{i_L}{V} = \overline{GM}_T + \delta(\overline{GM}_T) \qquad [m].$$

Pentru înclinările longitudinale se obţine:

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L - \frac{\gamma_1}{\gamma} \cdot \frac{i_T}{V} = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) \qquad [m],$$

unde i_T este momentul de inerţie al suprafeţei libere faţă de axa centrală transversală de inerţie proprie, iar γ este greutatea specifică a apei în care se află nava.

Prezenţa la bord a unei încărcături lichide cu suprafaţă liberă determină o variaţie negativă a înălţimilor metacentrice, proporţională cu greutatea specifică a lichidului şi cu momentele de inerţie ale suprafeţei libere faţă de axele centrale de inerţie proprii.

Influenţa ambarcării (debarcării) de greutăţi asupra stabilităţii iniţiale

♦ Ambarcarea (debarcarea) de greutăţi mici

Se consideră nava reprezentată prin secţiunile sale în PD şi ¤, având plutirea iniţială dreaptă WL, definită de pescajul T. Fie q, mărimea greutăţii şi $E(x,y,z)$, punctul de pe navă în care aceasta urmează să fie ambarcată.

- Ambarcarea greutăţii la bord evitând înclinările navei.

În această primă etapă se ambarcă greutatea în punctul $A(x_F,O,z)$. După ambarcare se produce o variaţie δT a pescajului mediu, iar plutirea navei devine W'L'.

Întrucât greutatea introdusă la bord, înainte de a ajunge în A se deplasează după direcţia axei verticale, se modifică înălţimile metacentrice.

Pentru determinarea variaţiei înălţimii metacentrice transversale se poate scrie:

$$\delta(\overline{GM}_T)=\delta(\overline{BM}_T)+\delta(\overline{KB})-\delta(\overline{KG}),$$

în care: $\delta(\overline{BM}_T),\delta(\overline{KB}),\delta(\overline{KG})$ sunt variaţiile razei metacentrice transversale, cotei centrului de carenă şi cotei centrului de greutate.

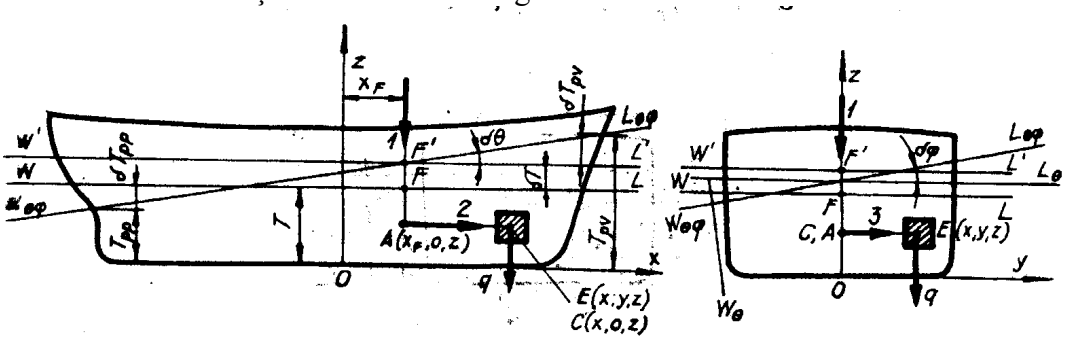


Fig. 5.41

Variaţia razei metacentrice transversale este dată de:

$$\delta(\overline{BM}_T)=\overline{BM'}_T-\overline{BM}_T,$$

unde:

$$BM'_T=\frac{I'_L}{V+\delta V}\cong\frac{I_L}{V+\delta V};$$

$$BM_T=\frac{I_L}{V}$$

Se obţine: $\delta(\overline{BM}_T)=-\frac{\delta V}{V+\delta V}\cdot\overline{BM}_T=-\frac{q}{\Delta+q}\cdot\overline{BM}_T$.

Variaţia înălţimii metacentrice este:

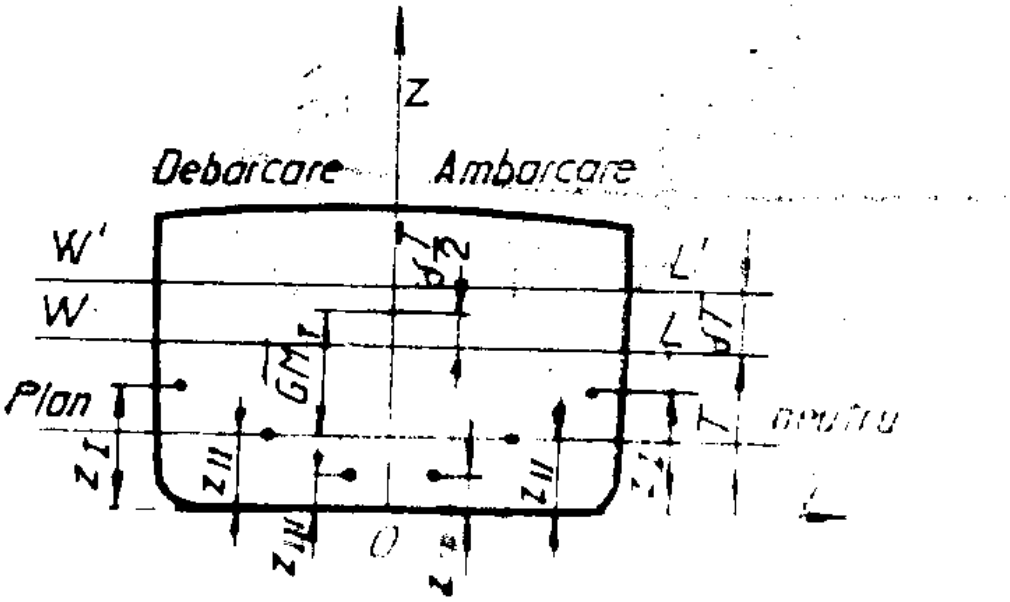
$$\delta(\overline{GM}_T)=\pm\frac{q}{\Delta\pm q}\cdot\left(T+\frac{\delta T}{2}-\overline{GM}_T-z\right)\qquad[m],$$

formula fiind valabilă pentru ambarcare cât şi pentru debarcare.

La sfârşitul primei etape, înălţimea metacentrică transversală devine:

$$\overline{GM}'_T=\overline{GM}_T+\delta(\overline{GM}_T)=\overline{GM}_T\pm\frac{q}{\Delta\pm q}\cdot\left(T+\frac{\delta T}{2}-\overline{GM}_T-z\right)\qquad[m].$$

Planul orizontal, a cărui poziţie este definită de cota $T+\frac{\delta T}{2}-\overline{GM}_T$, se numeşte plan neutru sau plan limită pentru stabilitatea transversală.



La ambarcare, lui *q* i se asociază semnul +, deci termenul din faţa parantezei este pozitiv şi se disting următoarele trei situaţii:

- dacă punctul de ambarcare are cota $z_I > T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T \Rightarrow \delta(\overline{GM}_T) < 0$;

  $\overline{GM}'_T < \overline{GM}_T$, deci stabilitatea scade;

- dacă punctul de ambarcare are cota $z_{II} = T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T \Rightarrow \delta(\overline{GM}_T) = 0$;

  $\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T$, deci stabilitatea rămâne neschimbată;

- dacă punctul de ambarcare are cota $z_{III} < T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T \Rightarrow \delta(\overline{GM}_T) > 0$;

  $\overline{GM}'_T > \overline{GM}_T$, deci stabilitatea creşte.

La ambarcarea unei greutăţi deasupra planului neutru, stabilitatea iniţială transversală scade; în planul neutru rămâne neschimbată, iar sub planul neutru creşte.

La debarcarea lui *q* i se asociază semnul -, deci termenul din faţa parantezei este negativ şi se disting următoarele trei situaţii:

- dacă punctul de debarcare are cota $z_I > T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T \Rightarrow \delta(\overline{GM}_T) > 0$;

  $\overline{GM}'_T > \overline{GM}_T$, deci stabilitatea creşte;

- dacă punctul de debarcare are cota $z_{II} = T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T \Rightarrow \delta(\overline{GM}_T) = 0$;

  $\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T$, deci stabilitatea rămâne neschimbată;

- dacă punctul de debarcare are cota $z_{III} < T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T \Rightarrow \delta(\overline{GM}_T) < 0$;

  $\overline{GM}'_T < \overline{GM}_T$, deci stabilitatea scade.

La debarcarea unei greutăţi de deasupra planului neutru, stabilitatea iniţială transversală creşte, din planul neutru rămâne neschimbată şi de sub planul neutru, scade.

Pentru a se evita scăderea stabilităţii iniţiale transversale se impune ca ambarcarea mărfurilor la bord să se facă de jos în sus, iar debarcarea de sus în jos.
Pentru determinarea influenţei ambarcării (debarcării) asupra stabilităţii iniţiale longitudinale procedând analog se obţin:

$$\delta(\overline{GM}_L) = \pm\frac{q}{\Delta \pm q}\cdot\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_L - z\right) \qquad [m];$$

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) = \overline{GM}_L \pm \frac{q}{\Delta \pm q}\cdot\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_L - z\right) \quad [m].$$

Planul orizontal, a cărui poziţie este definită de cota $T + \frac{\delta T}{2} - GM_L$, se numeşte plan neutru sau plan limită pentru stabilitatea longitudinală.

Deoarece $GM_L >>> T + \frac{\delta T}{2}$, planul neutru pentru stabilitatea longitudinală este situat mult sub navă.

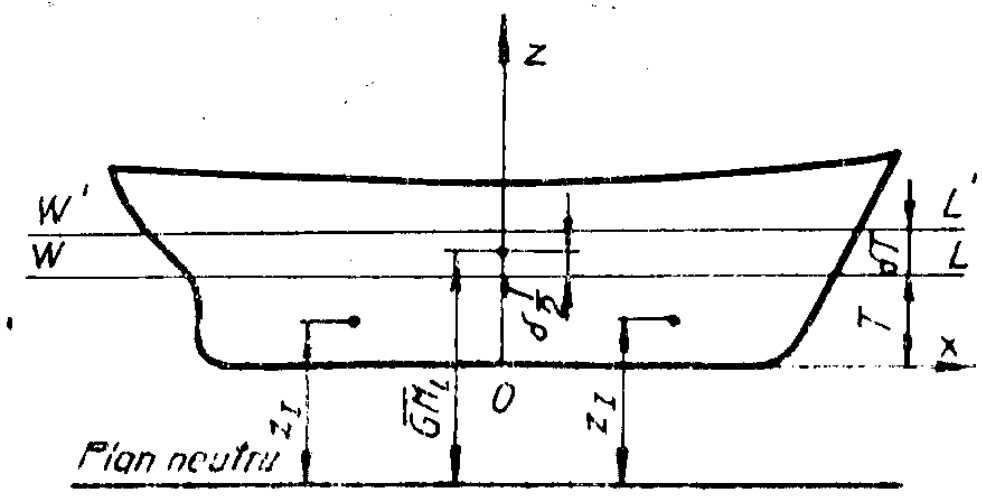


Fig. 5.11

La ambarcare, lui q i se asociază semnul +, deci termenul din faţa parantezei este pozitiv şi când punctul de ambarcare are cota $z_I > T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_L \Rightarrow \delta(\overline{GM}_L) < 0$ şi $\overline{GM}'_L < \overline{GM}_L$, deci stabilitatea scade.
La debarcare, lui q i se asociază semnul -, deci termenul din faţa parantezei este negativ şi când punctul de debarcare are cota $z_I > T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_L \Rightarrow \delta(\overline{GM}_L) > 0$ şi $\overline{GM}'_L > \overline{GM}_L$, deci stabilitatea creşte.
La ambarcarea unei greutăţi la bord, stabilitatea longitudinală scade şi la debarcare, creşte.

- Deplasarea greutăţii după direcţia axei longitudinale.

În această etapă greutatea se deplasează după axa O*x* din $A(x_F, o, z)$ în $C(x, o, z)$.
Nava se înclină în plan longitudinal cu unghiul $\delta\theta = \pm\frac{q(x - x_F)}{(\Delta \pm q)\overline{GM}'_L}$ $[rad]$.
Cunoscând acest unghi se trasează plutirea $W_\theta L_\theta$ care se intersectează cu W'L' în F'.

- Deplasarea greutăţii după direcţia axei transversale.

În această etapă greutatea se deplasează după Oy din $C(x,o,z)$ în $E(x,y,z)$. Nava se înclină în plan transversal cu unghiul $\delta\varphi = \pm\dfrac{qy}{(\Delta \pm q)\overline{GM}'_T}$ $[rad]$.

Acum se poate trasa plutirea $W_\varphi L_\varphi$ înclinată în plan transversal, care se raportează la $W_\theta L_\theta$.

♦ Ambarcarea (debarcarea) de greutăţi mari

Calculul ambarcării (debarcării) unei greutăţi mari cuprinde două etape:

- determinarea modificării pescajului mediu şi înălţimilor metacentrice, pentru care se utilizează diagrama de carene drepte, astfel:

$\delta T = T' - T = \overline{22'}$ [m]

$$\delta\left(\overline{GM}_T\right) = \mp\overline{4''4} \pm \overline{33''} \mp \frac{q}{\Delta \pm q}\left(z - \overline{KG}\right) \quad \text{[m]}$$

$$\delta\left(\overline{GM}_L\right) = \mp\overline{5''5} \pm \overline{33''} \mp \frac{q}{\Delta \pm q}\left(z - \overline{KG}\right) \quad \text{[m]}$$

unde primul semn corespunde ambarcării de greutăţi la bord, iar al doilea semn corespunde cazului debarcării.

- determinarea unghiurilor de înclinare longitudinală şi transversală.

3.2. Stabilitatea navei la unghiuri mari de înclinare

Stabilitatea la unghiuri mari studiază înclinările transversale statice şi dinamice care depăşesc 15º.

Întrucât în mod practic înclinările longitudinale nu depăşesc 15º, ele nu sunt incluse în studiul stabilităţii la unghiuri mari.

Înclinarea statică apare la acţiunea lentă a momentului exterior şi este caracterizată printr-o viteză unghiulară constantă.

Înclinarea dinamică apare la acţiunea bruscă a momentului exterior şi este caracterizată printr-o viteză unghiulară variabilă în timp; prin urmare această înclinare este însoţită de apariţia acceleraţiei.

3.2.1. Stabilitatea statică la unghiuri mari de înclinare

Stabilitatea statică la unghiuri mari studiază mărimea şi semnul momentului stabilităţii transversale şi relaţia dintre acesta şi momentul exterior în cazul înclinărilor care depăşesc 15º.

Expresiile analitice ale coordonatelor centrului de carenă şi metacentrului. Curba centrelor de carenă şi metacentrelor

Fie yOz, sistemul de axe de coordonate corespunzător secţiunii transversale care include centrul de carenă. Pentru plutirea iniţială dreaptă sunt calculate: centrul de carenă $B(0,\overline{KB})$ şi metacentrul transversal $M_T(0,\overline{KM}_T)$. Sub acţiunea momentului exterior de mărime M_{ext}, centrul de carenă se deplasează în punctul $B_\varphi\left(y_{B\varphi},(\overline{KB})_\varphi\right)$, iar metacentrul transversal în $M_{T\varphi}\left(y_{MT\varphi},(\overline{KM}_T)_\varphi\right)$.

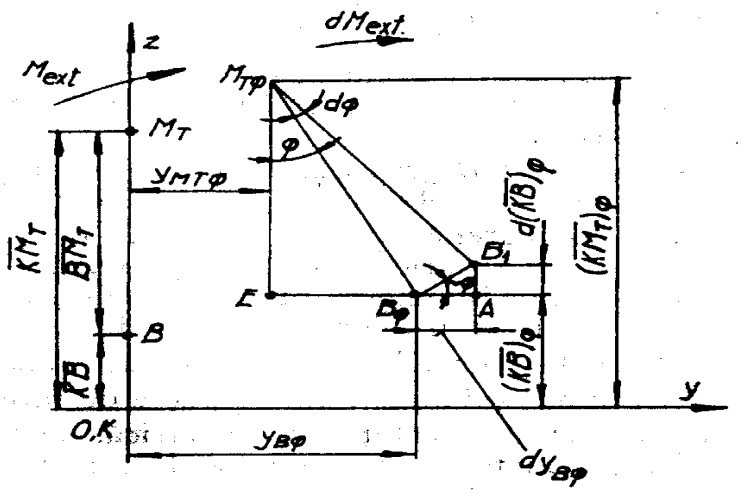


Fig. 5.48

În continuare se vor determina coordonatele acestor două puncte. Pentru aceasta, se presupune că sub acţiunea unui moment exterior de mărime dM_{ext}, nava se înclină suplimentar cu unghiul infinit mic $d\varphi$. În urma înclinării suplimentare centrul de carenă se deplasează din B_φ în B_1, iar metacentrul rămâne în $M_{T\varphi}$. Deplasarea $\overline{B_\varphi B_1}$ a centrului de carenă rezultă din deplasările elementare: $dy_{B\varphi} = \overline{B_\varphi A}$, $d(\overline{KB})_\varphi = \overline{AB_1}$.

Din triunghiul dreptunghic $M_{T\varphi}B_\varphi B_1$ se scrie:

$$\overline{B_\varphi B_1} = (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \sin d\varphi \cong (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot d\varphi .$$

Din triunghiul dreptunghic $B_\varphi B_1 A$ avem:

$$dy_{B\varphi} = \overline{B_\varphi B_1} \cdot \cos\varphi = (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi ;$$

$$d(\overline{KB})_\varphi = \overline{B_\varphi B_1} \cdot \sin\varphi = (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi .$$

Integrând pe intervalul $[0,\varphi]$ se obţine:

$$y_{B\varphi} = \int_0^\varphi (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi \quad [m]$$

$$(\overline{KB})_\varphi = \overline{KB} + \int_0^\varphi (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi \quad [m]$$

Coordonatele metacentrului transversal sunt:

$$y_{MT\varphi} = y_{B\varphi} - (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \sin\varphi = \int_0^\varphi (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \cos\varphi \cdot d\varphi - (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \sin\varphi \quad [m];$$

$$(\overline{KM}_T)_\varphi = (\overline{KB})_\varphi + (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \cos\varphi = \overline{KB} + \int_0^\varphi (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \sin\varphi \cdot d\varphi + (\overline{BM}_T)_\varphi \cdot \cos\varphi \ [m]$$

.

Braţul stabilităţii statice. Momentul stabilităţii corespunzător unghiurilor mari de înclinare

Braţul stabilităţii statice pentru unghiul φ de înclinare se notează cu l_S şi este distanţa dintre suportul forţei de deplasament şi suportul forţei de împingere Arhimede.

Există patru modalităţi de deducere a formulei de calcul a braţului stabilităţii statice. Se vor prezenta doar două din cele patru modalităţi.

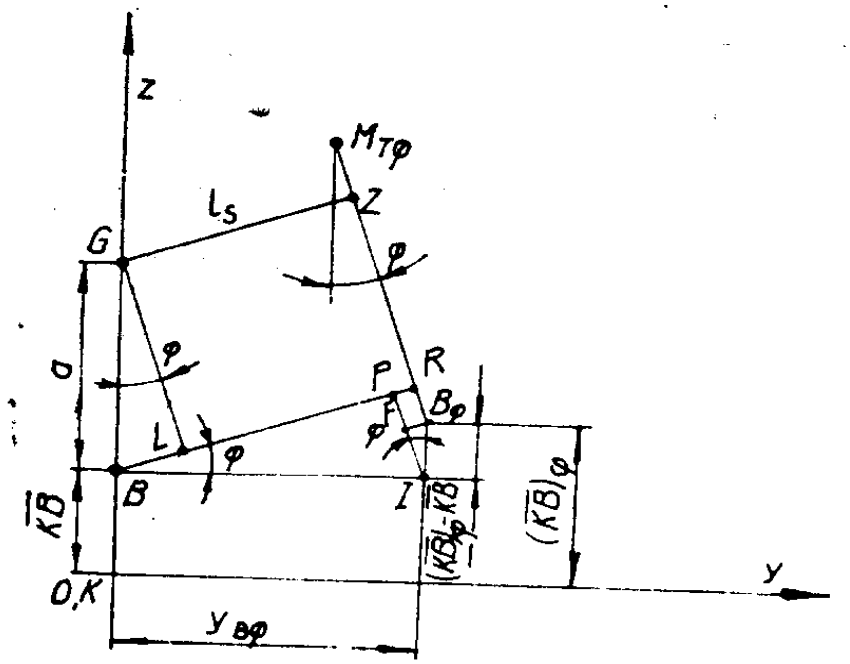
- Se consideră sistemul de axe de coordonate yOz, corespunzător secţiunii transversale care include centrul de carenă. Pentru plutirea iniţială dreaptă se scrie:

$B(0,\overline{KB})$; $G(0,\overline{KG})$ şi $\overline{GB}=a$. În urma înclinării navei cu unghiul φ, centrul de carenă şi metacentrul transversal se deplasează în B_φ şi respectiv $M_{T\varphi}$. Dacă din G se duce $\overline{GZ}\perp(\overline{BM}_T)_\varphi$, atunci braţul stabilităţii statice pentru unghiul φ este $l_S=\overline{GZ}$. În scopul stabilirii formulei de calcul, se face următoarea construcţie grafică:

- din B se duce $\overline{BI}\,||\,Oy$ şi $\overline{BR}\perp(\overline{BM}_T)_\varphi$;
- din B_φ se duce $\overline{B_\varphi I}\,||\,Oy$, deci $I=\overline{BI}\cap\overline{B_\varphi I}$;
- din I se duce $\overline{IP}\perp\overline{BR}$;
- din B_φ se duce $\overline{B_\varphi F}\perp\overline{IP}$;
- din G se duce $\overline{GL}\perp\overline{BR}$.

Astfel avem: $l_S=\overline{GZ}=\overline{LR}=\overline{BP}+\overline{B_\varphi F}-\overline{BL}$.

Din triunghiurile dreptunghice BPI, FIB_φ, GBL, avem:



$$\overline{BP}=y_{B\varphi}\cos\varphi$$
$$\overline{B_\varphi F}=\left[(\overline{KB})_\varphi-\overline{KB}\right]\sin\varphi$$
$$\overline{BL}=a\sin\varphi$$

Braţul stabilităţii statice este:

$$l_S=y_{B\varphi}\cos\varphi+\left[(\overline{KB})_\varphi-\overline{KB}\right]\sin\varphi-a\sin\varphi\quad[m].$$

♦ Se consideră nava reprezentată prin secţiunea sa în planul transversal care include centrul de carenă, având plutirea iniţială dreaptă WL. Sub acţiunea momentului de mărime M_{ext} nava se înclină cu unghiul φ iar plutirea ei devine $W_\varphi L_\varphi$.

Momentul stabilităţii se poate scrie: $M_S=M_{Sf}+M_{Sg}$.

M_{Sg} este momentul stabilităţii de greutate şi este: $M_{Sg}=-\Delta\cdot a\sin\varphi=\Delta\cdot l_{Sg}$

M_{Sf} este momentul stabilităţii de formă şi este: $M_{Sf}=\Delta\cdot l_{Sf}$.

$l_{Sg} = -a \sin \varphi$

$l_{Sf} = y_{B\varphi} \cos \varphi + \left[(\overline{KB})_{\varphi} - \overline{KB} \right] \sin \varphi$

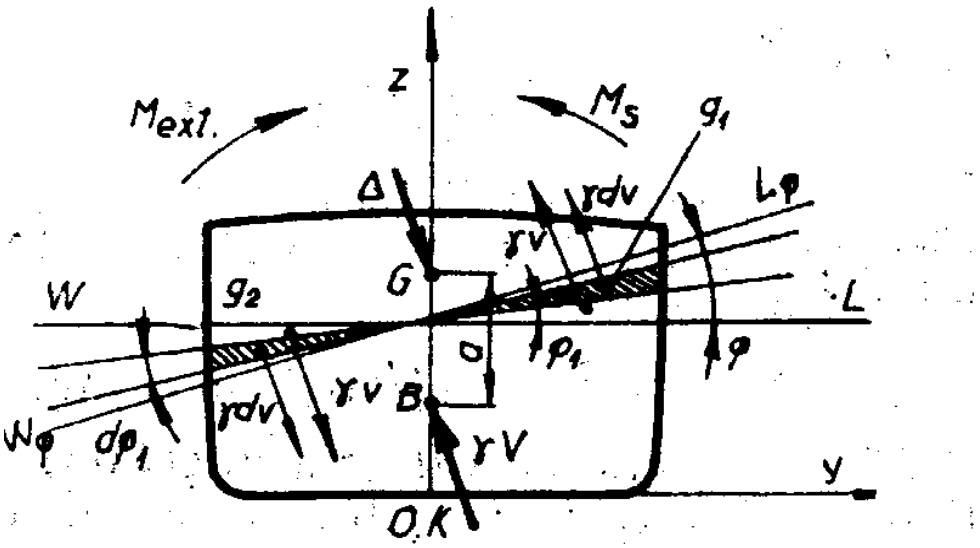


Fig. 5.53

Astfel, braţul stabilităţii statice este: $l_S = l_{Sg} + l_{Sf}$ şi este totdeauna pozitiv.

Diagrama stabilităţii statice. Proprietăţi

Reprezentarea grafică a funcţiei $l_S = v_1(\varphi)$ sau $M_S = v_2(\varphi)$ pentru $\varphi = 0° \div 90°$ se numeşte diagrama stabilităţii statice.

Diagrama stabilităţii statice corespunzătoare înclinărilor navei într-un bord are următoarele puncte caracteristice:

- originea $O(0,0)$;
- maximul $M(\varphi_M, l_{SM})$ sau $M(\varphi_M, M_{SM})$;
- punctul de apus (declin) $V(\varphi_V, 0)$;
- un punct oarecare de pe diagramă $A(\varphi_A, l_{SA})$ sau $A(\varphi_A, M_{SA})$.

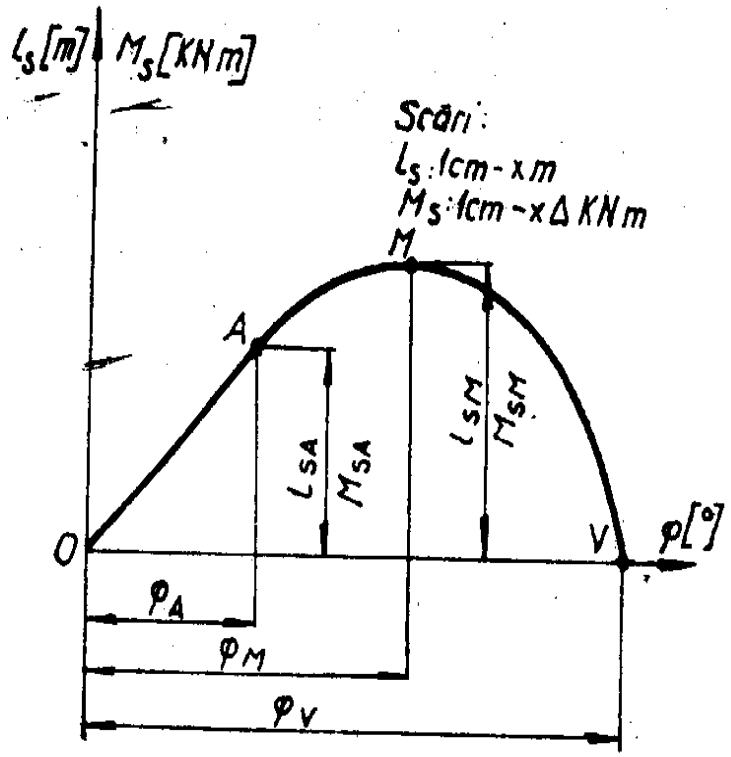


Fig. 5.55

Diagrama stabilităţii statice se împarte în două porţiuni:

- porţiunea crescătoare de la O la M;
- porţiunea descrescătoare de la M la V.

φ_V este unghiul maxim de înclinare la care nava, lăsată liberă, revine în poziţia iniţială de echilibru.

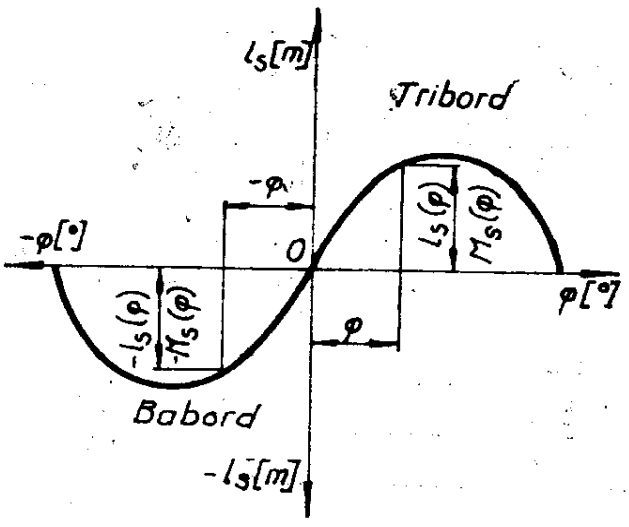


Fig. 5.56

φ_M este unghiul de înclinare care, de regulă, corespunde intrării punţii în apă.

Funcţia $l_S = v_1(\varphi)$ sau $M_S = v_2(\varphi)$ este impară, adică:

$l_S(-\varphi) = -l_S(\varphi)$

$M_S(-\varphi) = -M_S(\varphi)$

P1: Dacă prin punctul $A(\varphi_A, l_{SA}) \in v_1(\varphi)$ se duce tangenta la diagrama stabilităţii statice şi dreaptă orizontală, atunci segmentul definit de punctele de intersecţie ale verticalei situate la $1\ rad = 57{,}3°$ faţă de A cu cele două, determină înălţimea metacentrică $(\overline{GM}_T)_{\varphi A}$ la scara lui l_S.

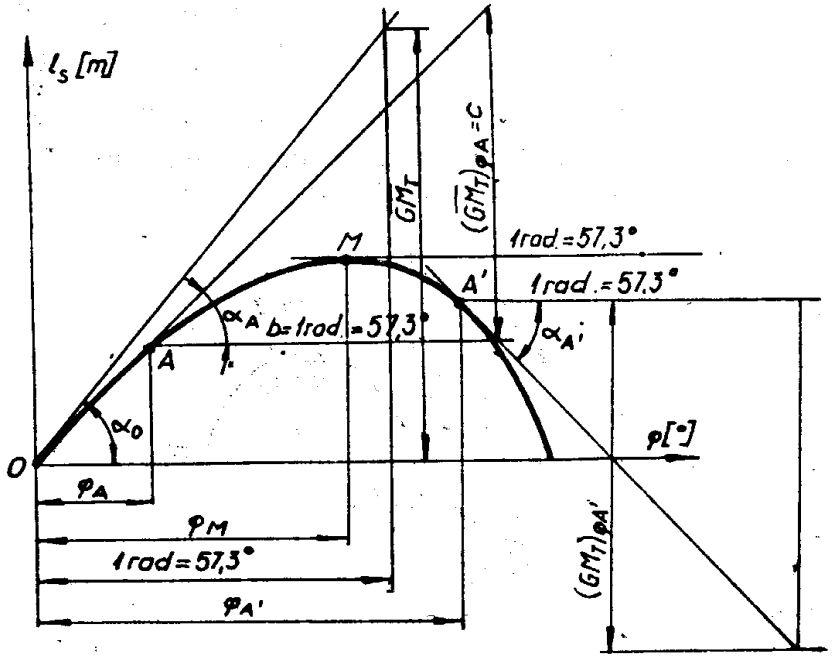


Fig. 5.57

P2: Pe porţiunea iniţială tangenta în origine la diagramă se suprapune cu diagrama.

P3: Aria suprafeţei definite de graficul funcţiei $M_S = v_2(\varphi)$, axa 0φ şi verticala corespunzătoare unghiului φ reprezintă lucrul mecanic al stabilităţii pentru această înclinare a navei.

Aria suprafeţei definite de graficul funcţiei $M_S = v_2(\varphi)$ şi axa 0φ reprezintă lucrul mecanic total al stabilităţii corespunzător înclinării navei într-un bord şi se numeşte rezervă de stabilitate dinamică.

3.2.2. Stabilitatea dinamică la unghiuri mari de înclinare

Stabilitatea dinamică la unghiuri mari studiază mărimea şi semnul lucrului mecanic al stabilităţii şi relaţia dintre acesta şi lucrul mecanic exterior în cazul înclinărilor care depăşesc 15º.

Lucrul mecanic exterior. Lucrul mecanic al stabilităţii sau de redresare. Braţul stabilităţii dinamice

Braţul stabilităţii dinamice l_d corespunzător unghiului φ de înclinare reprezintă variaţia distanţei dintre centrul de greutate şi centrul de carenă măsurat după direcţiile forţelor aplicate în aceste puncte.

Lucrul mecanic exterior consumat pentru înclinarea navei cu unghiul φ se notează cu $M_{Dext} = \Delta \cdot l_d \quad [kN]$.

Condiţia de echilibru dinamic este: $M_{Dext} = M_D$, unde:

M_D este lucrul mecanic al stabilităţii.

Braţul stabilităţii dinamice este: $l_d = \int_0^{\varphi} l_S d\varphi \quad [m]$.

Calculul braţului stabilităţii dinamice

M1: $l_d = y_{B\varphi} \sin\varphi - \left[(\overline{KB})_\varphi - \overline{KB}\right]\cos\varphi - a(1-\cos\varphi)$

M2: Se face construcţia grafică, după care se măsoară pe $(\overline{BM}_T)_\varphi$, din punctul Z spre B_φ, segmentul $\overline{ZN} = a$ şi avem:

$$l_d = \overline{ZB}_\varphi - a = \overline{NB}_\varphi = \overline{GL} + \overline{PI} - \overline{FI} - \overline{ZN}\,.$$

Din triunghiurile dreptunghice BGL, BPI, IFB_φ avem:

$\overline{GL} = a\cos\varphi$

$\overline{PI} = y_{B\varphi}\sin\varphi$

$\overline{FI} = \left[(\overline{KB})_\varphi - \overline{KB}\right]\cos\varphi$

Braţul stabilităţii dinamice este: $l_d = y_{B\varphi}\sin\varphi - \left[(\overline{KB})_\varphi - \overline{KB}\right]\cos\varphi - a(1-\cos\varphi)$.

Diagrama stabilităţii dinamice. Proprietăţi

Reprezentarea grafică a funcţiei $l_d = v_3(\varphi)$ sau $M_D = v_4(\varphi)$ pentru $\varphi = 0° \div 90°$ se numeşte diagrama stabilităţii dinamice.

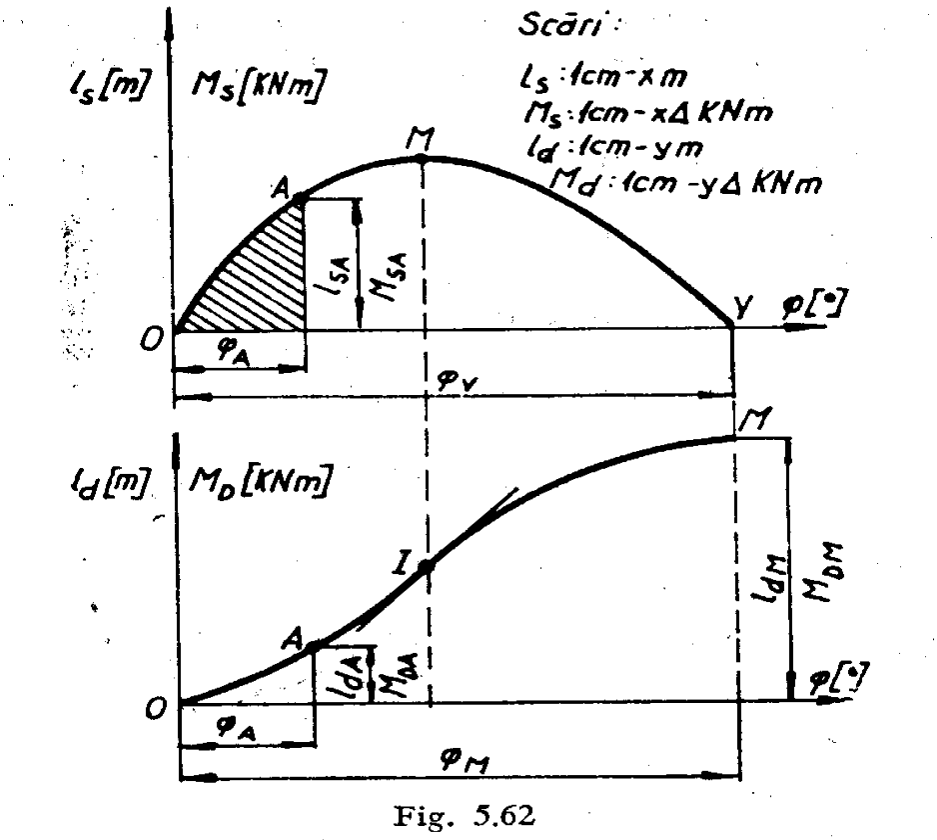


Fig. 5.62

Punctele caracteristice ale diagramei stabilităţii dinamice sunt:

- originea $O(0,0)$;
- punctul de inflexiune $I(\varphi_I, l_{dI})$ sau $I(\varphi_I, M_{DI})$;
- punctul de maxim $M(\varphi_M, l_{dM})$ sau $M(\varphi_M, M_{DM})$;

- un punct oarecare de pe diagramă $A(\varphi_A, l_{dA})$ sau $A(\varphi_A, M_{DA})$.

P1: Graficul funcţiei $l_d = v_3(\varphi)$ admite axa 0φ ca tangentă în origine.

P2: Funcţia $l_d = v_3(\varphi)$ sau $M_D = v_4(\varphi)$ este pară, adică: $l_d(-\varphi) = l_d(\varphi)$ sau $M_D(-\varphi) = M_D(\varphi)$.

P3: La unghiul corespunzător punctului M de maxim al diagramei stabilităţii statice, diagrama stabilităţii dinamice are un punct I de inflexiune.

P4: Braţul stabilităţii dinamice l_{dA} corespunzător punctului A, de abscisă φ_A, reprezintă aria suprafeţei de sub diagrama stabilităţii statice până la φ_A.

P5: La unghiul corespunzător punctului V de apus al diagramei stabilităţii statice, diagrama stabilităţii dinamice are un punct M de maxim.

P6: Dacă prin punctul $A(\varphi_A, M_{DA}) \in v_4(\varphi)$ se duce tangenta la diagrama stabilităţii dinamice şi dreapta orizontală, atunci segmentul definit de punctele de intersecţie ale verticalei situate la $1rad = 57{,}3°$ faţă de A cu cele două drepte determină $(M_S)_{\varphi A}$ la scara lui M_D.

3.2.3. Probleme practice ce pot fi rezolvate cu ajutorul diagramei stabilităţii statice şi dinamice

De regulă, la rezolvarea problemelor cu ajutorul diagramelor stabilităţii, se folosesc graficele funcţiilor: $M_S = v_2(\varphi)$; $M_D = v_4(\varphi)$.

Studiul echilibrului navei supuse acţiunii unui moment exterior constant

Înclinarea navei până la unghiul φ se produce într-un anumit interval de timp, deci $\varphi = p(t)$. Din studiul echilibrului static şi dinamic al navei supuse acţiunii unui moment exterior, a cărui mărime este constantă în timp, rezultă că mărimea momentului exterior rămâne aceeaşi la orice unghi de înclinare: $M_{ext} = \text{constant}$.

♦ Studiul echilibrului static

Condiţia de echilibru static este: $M_S = M_{ext}$.

Graficul funcţiei $M_S = v_2(\varphi)$ este reprezentat pe diagrama stabilităţii statice. Graficul funcţiei $M_{ext} = v_5(\varphi)$ este o dreaptă paralelă cu axa $O\varphi$.

În punctul de intersecţie a graficului funcţiei $M_{ext} = v_5(\varphi)$ pentru $M_{ext} = \text{constant}$ cu diagrama stabilităţii statice se duce tangenta la diagramă şi orizontala. Dacă unghiul format de tangentă cu orizontala este pozitiv, atunci punctul este de echilibru stabil; dacă unghiul este negativ sau nul, atunci punctul este de echilibru instabil.

♦ Studiul echilibrului dinamic

Echilibrul dinamic al navei presupune respectarea condiţiei: $M_D = M_{Dext}$.

Graficul funcţiei $M_D = v_4(\varphi)$ este reprezentat pe diagrama stabilităţii dinamice. Dacă $M_{ext} = \text{constant}$, atunci lucrul mecanic exterior este: $M_{Dext} = M_{ext} \cdot \varphi \quad [kNm]$, unde φ este unghiul de înclinare în radiani.

Din această ultimă formulă se observă că graficul funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ este o dreaptă ce trece prin originea sistemului de axe.

În punctul de intersecţie a graficului funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ pentru $M_{ext} = \text{constant}$ cu diagrama stabilităţii dinamice se duce tangenta la diagramă şi orizontala. Se notează cu α_d unghiul format de tangentă cu orizontala şi cu α_{ext} unghiul format de graficul

funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ cu orizontala. Dacă $\alpha_d > \alpha_{ext}$ echilibrul dinamic este stabil; dacă $\alpha_d \le \alpha_{ext}$ echilibrul dinamic este instabil.

Studiul echilibrului navei supuse acţiunii unui moment exterior variabil

- Studiul echilibrului static

Condiţia de echilibru static: $M_S = M_{ext}$.

Graficul funcţiei $M_S = v_2(\varphi)$ este reprezentat pe diagrama stabilităţii statice. Peste el se suprapune graficul funcţiei $M_{ext} = v_5(\varphi)$, care de data aceasta este o curbă oarecare. În punctele 1, 2, 3, 4 de intersecţie ale celor două grafice este îndeplinită condiţia de echilibru static.

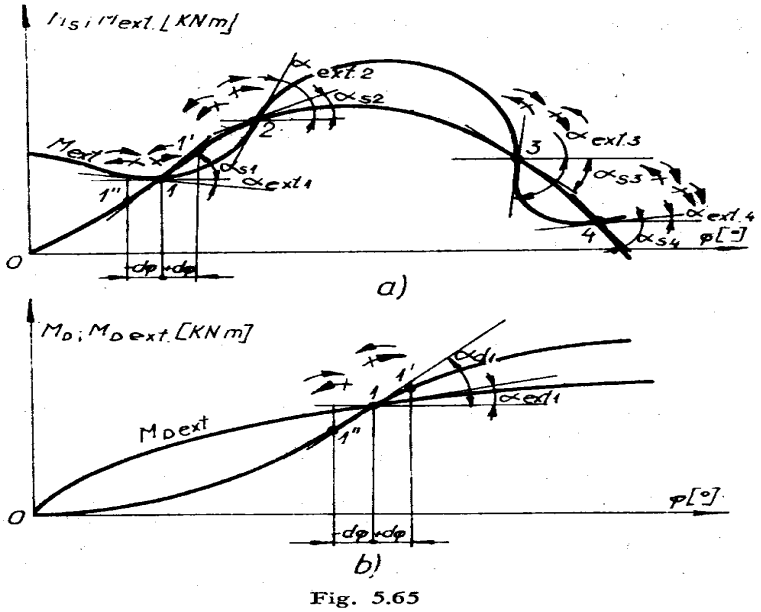


Fig. 5.65

În punctul de intersecţie a graficelor funcţiilor $M_S = v_2(\varphi)$, $M_{ext} = v_5(\varphi)$, pentru $M_{ext} \neq c$, se duc tangentele la ele, care formează cu orizontala unghiurile: α_S, α_{ext}. Dacă $\alpha_S > \alpha_{ext}$, punctul este de echilibru static stabil; dacă $\alpha_S < \alpha_{ext}$, punctul este de echilibru static instabil.

Punctele 1 şi 3 sunt de echilibru static stabil, iar 2 şi 4 sunt puncte de echilibru static instabil.

- Studiul echilibrului dinamic

Condiţia de echilibru dinamic: $M_D = M_{Dext}$.

Graficul funcţiei $M_D = v_4(\varphi)$ este reprezentat pe diagrama stabilităţii dinamice. Peste el se suprapune graficul funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$, având forma unei curbe oarecare.

Cele două grafice se intersectează în punctul 1, unde este îndeplinită condiţia de echilibru dinamic.

În punctul de intersecţie a graficelor funcţiilor $M_D = v_4(\varphi)$, $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ pentru $M_{ext} \neq c$ se duc tangentele la ele, care formează cu orizontala unghiurile: α_d, α_{ext}. Dacă $\alpha_d > \alpha_{ext}$, punctul este de echilibru dinamic stabil; dacă $\alpha_d < \alpha_{ext}$, punctul este de echilibru dinamic instabil.

Punctul 1 este punct de echilibru dinamic stabil.

Determinarea unghiului de înclinare statică şi dinamică a navei supuse acţiunii unui moment exterior constant

- Metoda cu diagrama stabilităţii statice

Peste graficul funcţiei $M_S = v_2(\varphi)$ se trasează la aceeaşi scară graficul funcţiei $M_{ext} = v_5(\varphi)$ care, pentru $M_{ext} =$ constant este o dreaptă paralelă cu axa $O\varphi$.

La înclinarea statică a navei, punctului s de intersecţie a celor două grafice îi corespunde unghiul φ_s.

La înclinarea dinamică, la aplicarea bruscă a momentului exterior nava se înclină până în punctul d, unde este îndeplinită condiţia de echilibru dinamic $M_D = M_{Dext}$ care se mai poate scrie sub forma: $A_{Ocab} = A_{Osdab} \Rightarrow a_{ext} = a_S$.

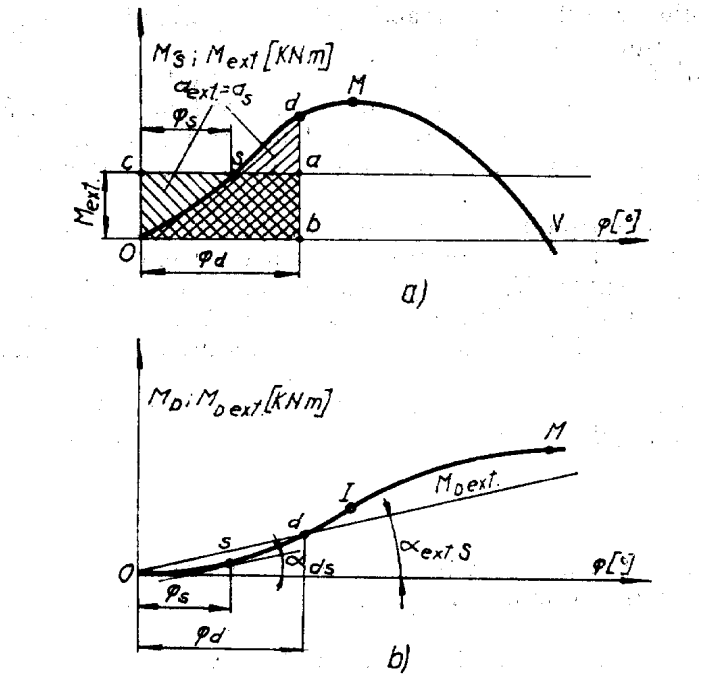


Fig. 5.66

Punctului d îi corespunde unghiul φ_d de înclinare dinamică a navei.

Înclinarea navei până în d şi revenirea spre s, unde $M_S = M_{ext}$, se face cu viteză unghiulară variabilă în timp şi este însoţită de apariţia momentelor forţelor de inerţie. Aceste momente determină câteva mişcări oscilatorii ale navei în jurul lui s, cu amplitudini din ce în ce mai mici înainte de stabilizarea sa în acest punct.

La înclinarea dinamică iniţială definită de unghiul φ_d, nava poate să-şi piardă stabilitatea; în acest caz ea nu mai revine în s.

- Metoda cu diagrama stabilităţii dinamice

Momentul exterior constant, reprezentat pe diagrama stabilităţii statice, determină lucrul mecanic $M_{Dext} = M_{ext} \cdot \varphi$.

Peste graficul funcţiei $M_D = v_4(\varphi)$ se trasează la aceeaşi scară graficul funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ care este o dreaptă ce trece prin originea sistemului de axe de coordonate. Punctului d, de intersecţie a reprezentării grafice a celor două funcţii, îi corespunde unghiul φ_d de înclinare dinamică a navei.

Avem: $\left.\begin{matrix} M_S = \tan\alpha_{dS} \\ M_{ext} = \tan\alpha_{extS} \end{matrix}\right\} \Rightarrow \tan\alpha_{dS} = \tan\alpha_{extS} \Rightarrow \alpha_{dS} = \alpha_{extS}$.

În cazul de faţă α_{ext} este unghiul pe care îl face graficul funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ cu axa $O\varphi$.

Pentru a se respecta relaţia $\alpha_{dS} = \alpha_{extS}$ este necesar să se găsească punctul $s \in v_4(\varphi)$, în care tangenta la $M_D = v_4(\varphi)$ este paralelă cu $M_{Dext} = v_6(\varphi)$.

Punctul s astfel găsit determină unghiul φ_s de înclinare statică a navei.

Determinarea unghiului de înclinare statică şi dinamică a navei supuse acţiunii unui moment exterior variabil

- Metoda cu diagrama stabilităţii statice

Peste graficul funcţiei $M_S = v_2(\varphi)$ se trasează la aceeaşi scară graficul funcţiei $M_{ext} = v_5(\varphi)$, care pentru $M_{ext} = const$, este o curbă.

Punctului s, de intersecţie a celor două reprezentări grafice ale funcţiilor, îi corespunde unghiul φ_s de înclinare statică a navei.

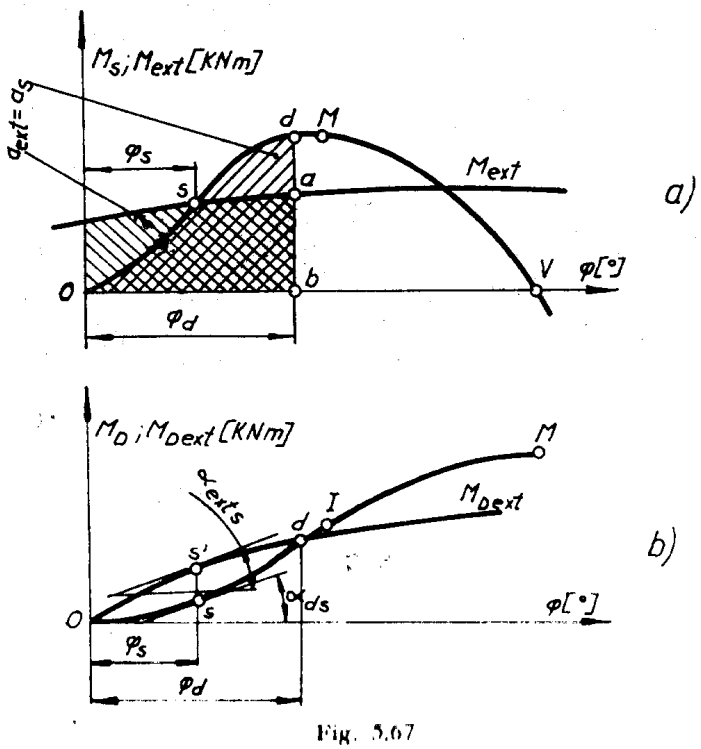


Fig. 5.67

Punctul d, căruia îi corespunde unghiul φ_d de înclinare dinamică, este stabilit astfel încât să fie îndeplinită condiţia $a_{ext} = a_S$.

- Metoda cu diagrama stabilităţii dinamice

Peste graficul funcţiei $M_D = v_4(\varphi)$ se trasează la aceeaşi scară graficul funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ care, pentru $M_{ext} = const$ este o curbă.

Punctului d, de intersecţie a celor două grafice, îi corespunde unghiul φ_d de înclinare dinamică a navei.

Unghiul de înclinare statică trebuie să asigure respectarea condiţiei $\alpha_{dS} = \alpha_{extS}$.

Pentru determinarea unghiului de înclinare statică se caută punctele $s \in v_4(\varphi)$ şi $s' \in v_6(\varphi)$ astfel încât:

- segmentul $\overline{ss'} \perp 0\varphi$;
- tangenta la $M_D = v_4(\varphi)$ în s să fie paralelă cu tangenta la $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ în s'.

Segmentului $\overline{ss'}$ îi corespunde unghiul φ_s de înclinare statică a navei.

Cu diagrama stabilităţii statice se poate determina valoarea exactă a unghiului de înclinare statică şi valoarea aproximativă a unghiului de înclinare dinamică pentru nava supusă acţiunii unui moment exterior constant sau variabil.

Cu diagrama stabilităţii dinamice se poate determina valoarea aproximativă a unghiului de înclinare statică şi valoarea exactă a unghiului de înclinare dinamică pentru nava supusă acţiunii unui moment exterior constant sau variabil.

Determinarea momentului dinamic maxim pe care îl suportă nava

- Metoda cu diagrama stabilităţii statice

Se consideră diagrama stabilităţii statice. Se trasează pe această diagramă o dreaptă orizontală astfel încât să existe relaţia $\alpha_S = \alpha_{ext}$. Distanţa de la axa 0φ până la această orizontală reprezintă momentul dinamic maxim $M_{ext\max}$ pe care îl suportă nava. Sub acţiunea acestuia nava se înclină până în punctul d căruia îi corespunde unghiul $\varphi_{d\max}$. Punctul d este şi de echilibru static, deci nava rămâne în acest punct.

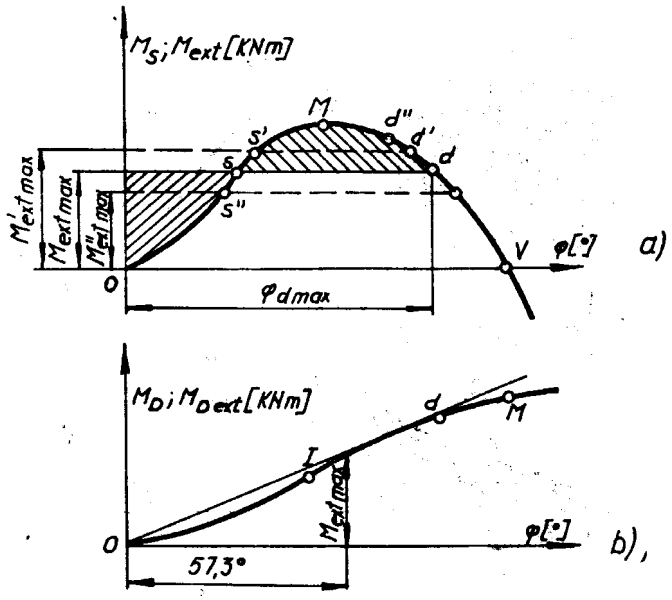


Fig. 5.68

- Metoda cu diagrama stabilităţii dinamice

Se duce din originea sistemului de axe de coordonate tangenta la diagrama stabilităţii dinamice şi se obţine punctul d. Această dreaptă reprezintă graficul funcţiei $M_{Dext} = v_6(\varphi)$ dată de un moment exterior constant, iar d este ultimul punct în care se mai asigură condiţia de echilibru dinamic.

$$M_{ext\max} = (M_S)_{\varphi d}$$

Determinarea momentului dinamic admisibil

Se face cu diagrama stabilităţii statice.

Punctul d în care se stabileşte nava, după înclinarea dinamică produsă de $M_{ext\max}$, se află pe ramura descrescătoare a diagramei stabilităţii statice şi este de echilibru instabil. Momentul dinamic admisibil $M_{ext\,adm}$ este momentul exterior care aplicat brusc înclină nava până într-un punct d_{adm} situat pe ramura crescătoare a diagramei stabilităţii statice.

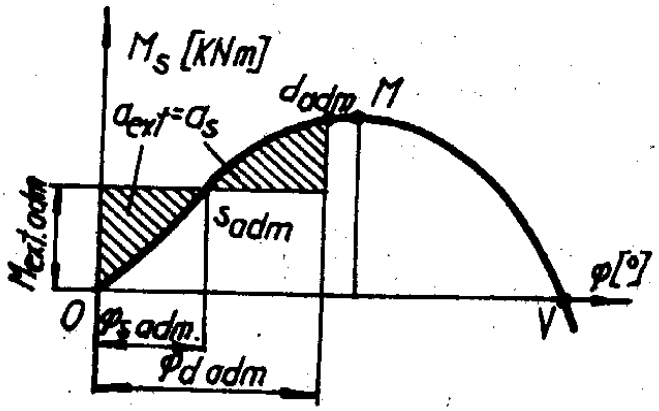


Fig. 5.71

Determinarea $M_{ext\,adm}$ se face astfel:

- prin punctul d_{adm}, situat pe diagrama stabilităţii statice în stânga maximului M al acesteia, se duce o verticală;
- se trasează apoi peste diagramă o dreaptă orizontală astfel încât $a_{ext} = a_S$; distanţa de la axa 0φ la această orizontală reprezintă $M_{ext\,adm}$ la scara diagramei.

Momentului dinamic admisibil îi corespund punctele s_{adm}, d_{adm} respectiv unghiurile $\varphi_{S\,adm}, \varphi_{d\,adm}$ de înclinare statică şi dinamică.

$M_{ext\,adm}$ se utilizează la verificarea stabilităţii navei sub acţiunea dinamică a momentelor exterioare.

4. **Nescufundabilitatea navei**

Noţiuni generale

Nescufundabilitatea este calitatea navei de a-şi păstra flotabilitatea şi stabilitatea în cazul inundării unui compartiment sau a unui grup de compartimente.

Pentru studiul teoretic al consecinţelor inundării, compartimentele inundate se clasifică în trei categorii:

a. Compartimente inundate de categoria I – sunt dispuse sub planul plutirii, umplute complet şi comunică sau nu cu exteriorul.
b. Compartimente inundate de categoria a II-a – sunt neumplute complet şi nu comunică cu exteriorul, deci apa din ele are suprafaţă liberă (compartimente care înainte de umplere au fost izolate de exterior prin astuparea găurii de apă; compartimente vecine cu cele avariate în care apa pătrunde prin infiltraţie).
c. Compartimente inundate de categoria a III-a – sunt neumplute complet şi comunică cu exteriorul (compartimente dispuse în zona liniei de plutire).

Pentru studiul teoretic al consecinţelor inundării compartimentelor sau grupurilor de compartimente, de obicei se utilizează două metode:

a. Metoda deplasamentului variabil sau ambarcării de greutăţi. În această metodă se consideră apa pătrunsă în compartiment ca o greutate ambarcată la bord. (I, II)
b. Metoda deplasamentului constant sau excluderii compartimentului avariat. Această metodă consideră volumul zonelor inundate exclus din volumul etanş al navei, deci el nu creează forţă de împingere Arhimede. În acelaşi timp se exclude şi apa intrată în compartiment, deci ea nu creează forţă de greutate. (III)

Studiul consecinţelor inundării compartimentelor de categoria I

Se consideră un compartiment inundat de categoria I definit de: 2 pereţi transversali etanşi, un perete longitudinal dispus în PD, bordajul navei şi o punte situată sub planul suprafeţei libere a apei. Compartimentul este reprezentat pe secţiunea navei în PD şi secţiunea transversală mediană a acestuia. Înainte de inundare, plutirea navei WL, cu centrul în $F(x_F, 0)$ este definită de pescajul *T*. Fie *v*, volumul apei de inundare a compartimentului umplut complet şi $c(x_c, y_c, z_c)$, centrul geometric al acestui volum. Greutatea apei de inundare este: $q = \gamma v \ \ [kN]$ şi se consideră ambarcată în punctul *c*.

a. Modificarea pescajului mediu

$$\delta T = \frac{q}{\gamma A_W} \quad [m] \qquad\qquad \delta T = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\gamma A_W} \quad [m]$$

$$\Delta + q$$

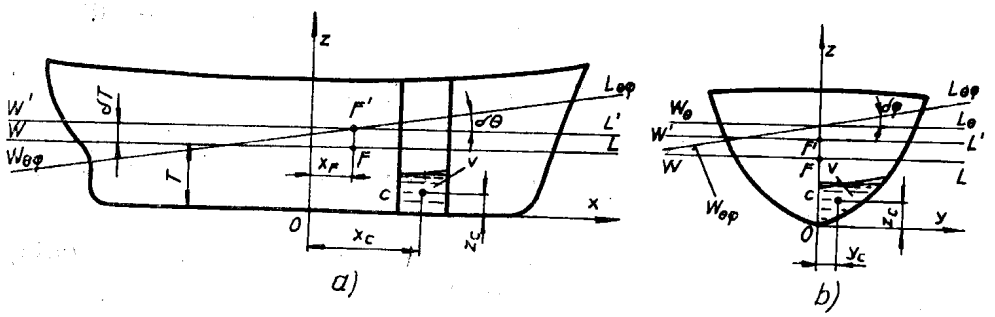


Fig. 6.1

b. Modificarea înălţimii metacentrice longitudinale corespunzătoare plutirii W'L'

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) = \overline{GM}_L + \frac{q}{\Delta + q}(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_L - z_c) \cong \frac{\Delta}{\Delta + q}\overline{GM}_L \ [m]$$

sau

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) = \overline{GM}_L + \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_L - z_{ci})}{\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i} \cong \overline{GM}_L + \frac{\overline{GM}_L \cdot \sum_{i=1}^{n} q_i}{\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i}$$

c. Modificarea asietei

$$\delta\theta = \frac{q(x_c - x_F)}{(\Delta + q)\cdot \overline{GM}'_L} \cong \frac{q(x_c - x_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_L} \quad [rad]$$

$$\delta\theta = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i (x_{ci} - x_F)}{(\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i) \cdot \overline{GM}'_L} \cong \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i (x_{ci} - x_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_L} \quad [rad]$$

Pentru trasarea plutirii $W_\theta L_\theta$, înclinate în plan longitudinal cu unghiul $\delta\theta$, se calculează pescajele la extremităţi:

$$T_{pv} = T + \delta T + \left(\frac{L_{WL}}{2} - x_F \right) \delta\theta \quad [m];$$

$$T_{pp} = T + \delta T - \left(\frac{L_{WL}}{2} + x_F \right) \delta\theta \quad [m].$$

d. Modificarea înălţimii metacentrice transversale

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T + \delta(\overline{GM}_T) = \overline{GM}_T + \frac{q}{\Delta + q} \left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T - z_c \right)$$

sau

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T + \delta(\overline{GM}_T) = \overline{GM}_T + \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i} \left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T - z_{ci} \right)$$

e. Modificarea poziţiei transversale a navei

$$\delta\varphi = \frac{q y_c}{(\Delta + q)\overline{GM}'_T} \quad [rad] \qquad \delta\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i y_{ci}}{\left(\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i \right) \overline{GM}'_T} \quad [rad]$$

Unghiul $\delta\varphi$, transformat în grade, permite trasarea plutirii $W_\varphi L_\varphi$ înclinată în plan transversal. Această plutire se raportează la proiecţia $W_\theta L_\theta$ pe secţiunea transversală, a plutirii înclinate în plan longitudinal.

Plutirea $W_\theta L_\theta$, trasată pe secţiunea navei în PD, reprezintă şi proiecţia $W_{\theta\varphi} L_{\theta\varphi}$ a plutirii finale pe acest plan.

Plutirea $W_\varphi L_\varphi$, trasată pe secţiunea transversală mediană, reprezintă şi proiecţia $W_{\varphi\theta} L_{\varphi\theta}$ a plutirii finale pe acest plan.

Studiul consecinţelor inundării compartimentelor de categoria a II-a

Se consideră un compartiment definit de: 2 pereţi transversali etanşi, un perete longitudinal dispus în PD, bordajul navei şi puntea principală. Compartimentul reprezentat pe secţiunea navei în PD şi secţiunea mediană a acestuia este inundat parţial, deci apa are suprafaţă liberă. Înainte de inundare, plutirea navei WL cu centrul în $F(x_F, 0)$ este definită de pescajul *T*. Fie *v*, volumul apei de inundare a compartimentului şi $c(x_c, y_c, z_c)$, centrul geometric al acestui volum. Greutatea apei de inundare este: $q = \gamma v$ $[kN]$ şi se consideră ambarcată în punctul *c*.

a. Modificarea pescajului mediu. Se determină δT şi se trasează plutirea dreaptă intermediară W'L', care va avea centrul geometric în $F'(x'_F = x_F; 0)$.

$$\delta T = \frac{q}{\gamma A_W} \quad [m] \qquad\qquad \delta T = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\gamma A_W} \quad [m]$$

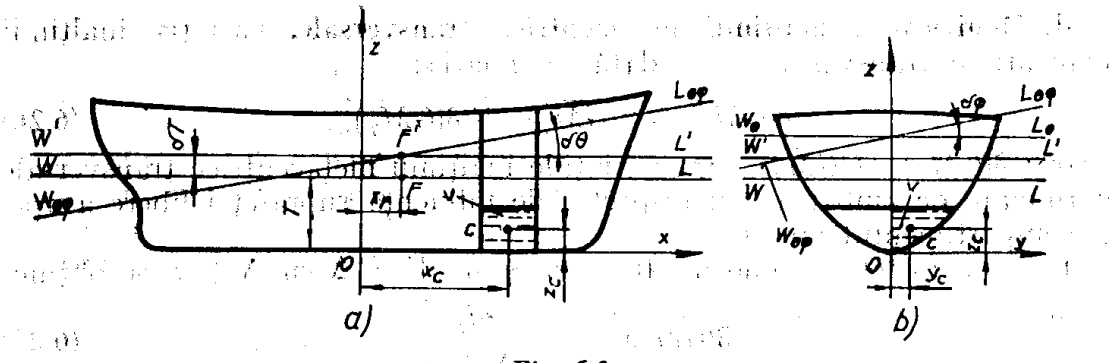


Fig. 6.3

b. Modificarea înălţimii metacentrice longitudinale

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) = \frac{q}{\Delta + q}\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_L - z_c - \frac{\gamma i_T}{q}\right) \cong \frac{\Delta}{\Delta + q} GM_L - \frac{\gamma i_T}{q}$$

sau

$$\overline{GM}'_L = \overline{GM}_L + \delta(\overline{GM}_L) = \overline{GM}_L + \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i\left(T + \frac{\delta T}{2} - GM_L - z_{ci} - \frac{\gamma i_{Ti}}{q_i}\right)}{\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i} \cong \overline{GM}_L + \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i\left(GM_L + \frac{\gamma i_{Ti}}{q_i}\right)}{\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i}$$

γ - greutatea specifică a apei de inundare

i_T - momentul de inerţie al suprafeţei libere faţă de propria axă transversală centrală de inerţie

i_L - momentul de inerţie al suprafeţei libere faţă de propria axă longitudinală centrală de inerţie

c. Modificarea asietei

$$\delta\theta = \frac{q(x_c - x_F)}{(\Delta + q)\cdot \overline{GM}'_L} \cong \frac{q(x_c - x_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_L} \quad [rad]$$

$$\delta\theta = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i(x_{ci} - x_F)}{(\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i)\cdot \overline{GM}'_L} \cong \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i(x_{ci} - x_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_L} \quad [rad]$$

Pentru trasarea plutirii $W_\theta L_\theta$, înclinate în plan longitudinal cu unghiul $\delta\theta$, se calculează pescajele la extremităţi:

$$T_{pv} = T + \delta T + \left(\frac{L_{WL}}{2} - x_F\right)\delta\theta \quad [m];$$

$$T_{pp} = T + \delta T - \left(\frac{L_{WL}}{2} + x_F\right)\delta\theta \quad [m].$$

d. Modificarea înălţimii metacentrice transversale

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T + \delta(\overline{GM}_T) = \overline{GM}_T + \frac{q}{\Delta + q}\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T - z_c - \frac{\gamma i_L}{q}\right)$$

sau

$$\overline{GM}'_T = \overline{GM}_T + \delta(\overline{GM}_T) = \overline{GM}_T + \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i}\left(T + \frac{\delta T}{2} - \overline{GM}_T - z_{ci} - \frac{\gamma i_{Li}}{q_i}\right)$$

e. Modificarea poziţiei transversale a navei

$$\delta\varphi = \frac{q y_c}{(\Delta + q)\overline{GM}'_T} \quad [rad] \qquad \delta\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i y_{ci}}{\left(\Delta + \sum_{i=1}^{n} q_i\right)\overline{GM}'_T} \quad [rad]$$

Studiul consecinţelor inundării compartimentelor de categoria a III-a

Se consideră un compartiment inundat de categoria a III-a definit de: 2 pereţi transversali etanşi, un perete longitudinal dispus în PD, bordajul navei şi puntea principală. Se reprezintă compartimentul pe secţiunile navei în PD, PL şi planul transversal median al acestuia. Plutirea navei înainte de inundare este WL. În vederea efectuării studiului teoretic al consecinţelor inundării, se exclude compartimentul din configuraţia corpului navei. Aceasta presupune următoarele ipoteze:

- se exclude volumul *v* de apă dezlocuit de compartiment până la plutirea WL, deci dispare împingerea Arhimede dată de acesta;
- se exclude volumul *v* de apă care pătrunde în compartiment până la WL, deci nu se ia în consideraţie greutatea acesteia ca ambarcată la bord.

Din ipotezele de mai înainte, rezultă că pentru corpul navei rămas după excluderea compartimentului apare o variaţie de pescaj δT căreia îi corespunde $\delta V = v$. Plutirea intermediară rezultată este W'L'.

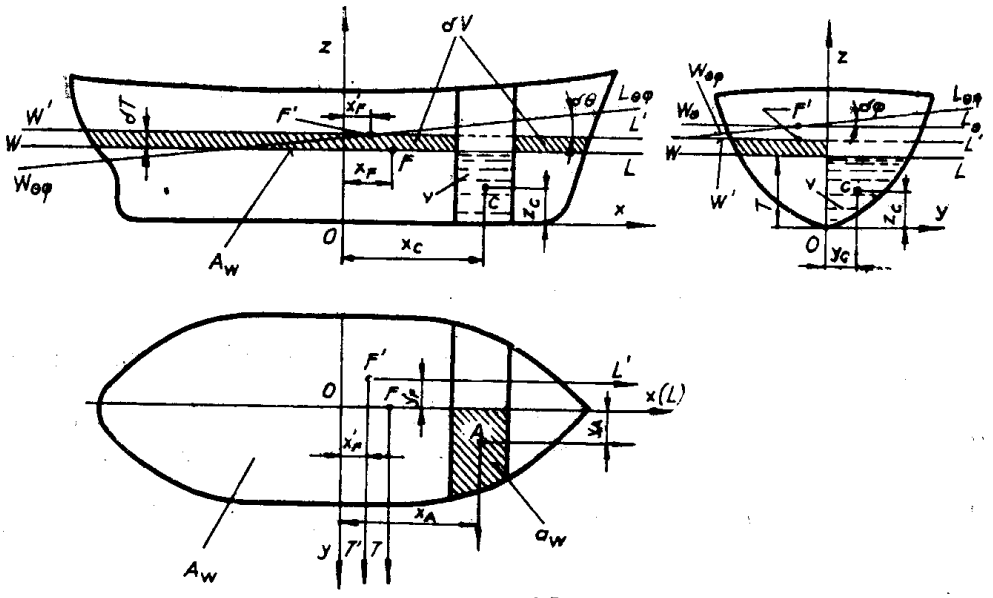


Fig. 6.5

363

Volumul *v* corespunde spaţiului gol din interiorul compartimentului, care poate fi ocupat de apa de inundare până la plutirea iniţială WL.
Pentru nava înainte de inundare se notează:
V - volumul carenei;
$B(x_B, y_B = 0, \overline{KB})$ - centrul de carenă;
$\Delta = \gamma V$ - deplasamentul;
A_W - aria suprafeţei plutirii;
$F(x_F, y_F = 0)$ - centrul suprafeţei plutirii;
I_L, I_T - momentele de inerţie ale suprafeţei plutirii faţă de propriile axe centrale de inerţie;
$\overline{GM}_T, \overline{GM}_L$ - înălţimile metacentrice iniţiale;
Pentru compartimentul inundat se notează cu:
v - volumul apei de inundare până la plutirea iniţială dreaptă;
$c(x_c, y_c, z_c)$ - centrul geometric al volumului v;
$q = \gamma v$ - greutatea apei de inundare;
a_W - aria suprafeţei libere a apei de inundare;
$A(x_A, y_A)$ - centrul geometric al suprafeţei libere;
i_L, i_T - momentele de inerţie ale suprafeţei libere faţă de propriile axe centrale de inerţie;
Pentru nava după inundare şi excluderea compartimentului se notează cu:
V - volumul carenei;
$B'(x'_B, y'_B, \overline{KB}')$ - centrul de carenă;
$\Delta = \gamma V$ - deplasamentul;
$A'_W = A_W - a_W$ - aria suprafeţei plutirii;
$F'(x'_F, y'_F)$ - centrul suprafeţei plutirii;
I'_L, I'_T - momentele de inerţie ale suprafeţei plutirii faţă de propriile axe centrale de inerţie;
$\overline{GM}'_T, \overline{GM}'_L$ - înălţimile metacentrice iniţiale corespunzătoare plutirii W'L'.

a. Calculul variaţiei pescajului mediu

$$\delta T = \frac{v}{A_W - a_W} = \frac{q}{\gamma (A_W - a_W)} \qquad \delta T = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i}{\left(A_W - \sum_{i=1}^{n} a_{Wi} \right)} \quad [m]$$

b. Calculul coordonatelor centrului plutirii

$$x'_F = x_F - \frac{a_W}{A_W - a_W}(x_A - x_F) \quad sau \quad x'_F = x_F - \frac{\sum_{i=1}^{n} a_{Wi}(x_{Ai} - x_F)}{A_W - \sum_{i=1}^{n} a_{Wi}} \quad [m]$$

$$y'_F = -\frac{a_W y_A}{A_W - a_W} \quad sau \quad x'_F = -\frac{\sum_{i=1}^{n} a_{Wi} y_{Ai}}{A_W - \sum_{i=1}^{n} a_{Wi}} \ [m].$$

c. Calculul momentelor de inerţie ale suprafeţei plutirii faţă de axele centrale de inerţie

$$I'_L = I_L(A'_W) - A'_W \, y'^2_F = I_L - (i_L + a_W y_A^2) - (A_W - a_W) y'^2_F \quad [m^4]$$

sau

$$I'_L = I_L - \sum_{i=1}^{n}(i_{Li} + a_{Wi} y_{Ai}^2) - \left(A_W - \sum_{i=1}^{n} a_{Wi}\right) y'^2_F \quad [m^4]$$

$$I'_T = I_T(A'_W) - A'_W (x'_F - x_F)^2 = I_T - [i_T + a_W (x_A - x_F)^2] - (A_W - a_W)(x'_F - x_F)^2 \quad [m^4]$$

$$I'_T = I_T - \sum_{i=1}^{n}[i_{Ti} + a_{Wi}(x_{Ai} - x_F)^2] - \left(A_W - \sum_{i=1}^{n} a_{Wi}\right)(x'_F - x_F)^2 \quad [m^4]$$

$I_L(A'_W)$ este momentul de inerţie al suprafeţei de arie A'_W, calculat în raport cu axa $FL \equiv Ox$, iar $I_T(A'_W)$ este momentul de inerţie al suprafeţei de arie A'_W, calculat în raport cu axa FT.

d. Calculul deplasărilor centrului de carenă

$$\delta x_B = \frac{v}{V}(x'_F - x_c) = -\frac{q}{\Delta}(x_c - x'_F)$$

$$\delta y_B = \frac{v}{V}(y'_F - y_c) = -\frac{q}{\Delta}(y_c - y'_F)$$

$$\delta(\overline{KB}) = \frac{v}{V}\left(T + \frac{\delta T}{2} - z_c\right) = \frac{q}{\Delta}\left(T + \frac{\delta T}{2} - z_c\right)$$

sau

$$\delta x_B = -\frac{1}{\Delta}\sum_{i=1}^{n} q_i (x_{ci} - x'_F)$$

$$\delta y_B = -\frac{1}{\Delta}\sum_{i=1}^{n} q_i (y_{ci} - y'_F)$$

$$\delta(\overline{KB}) = \frac{1}{\Delta}\sum_{i=1}^{n} q_i \left(T + \frac{\delta T}{2} - z_{ci}\right)$$

e. Calculul variaţiei razelor metacentrice

$$\delta(\overline{BM}_T) = \overline{BM}'_T - \overline{BM}_T = \frac{I'_L - I_L}{V}$$

$$\delta(\overline{BM}_L) = \overline{BM}'_L - \overline{BM}_L = \frac{I'_L - I_L}{V}$$

f. Calculul modificării înălţimilor metacentrice

$$\delta(\overline{GM}_T) = \delta(\overline{BM}_T) + \delta(\overline{KB})$$

$$\delta(\overline{GM}_L) = \delta(\overline{BM}_L) + \delta(\overline{KB})$$

g. Calculul modificării asietei

$$\delta\theta = \frac{q(x_c - x'_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_L} \qquad sau \qquad \delta\theta = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i (x_{ci} - x'_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_L} \qquad [rad]$$

h. Calculul modificării poziţiei transversale

$$\delta\varphi = \frac{q(y_c - y'_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_T} \qquad sau \qquad \delta\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_i (y_{ci} - y'_F)}{\Delta \cdot \overline{GM}'_T} \qquad [rad]$$

Compartimentarea navelor comerciale

Compartimentarea navei se face prin intermediul pereţilor transversali etanşi şi are rolul de a asigura atât nescufundabilitatea cât şi rezistenţa corpului. Numărul pereţilor transversali etanşi şi dispunerea acestora se stabileşte în conformitate cu prevederile registrelor de clasificaţie în funcţie de destinaţia şi lungimea navei.

Pentru navele nepropulsate destinate transportului de mărfuri, R.N.R. prevede doi pereţi transversali etanşi obligatorii şi anume: peretele picului pupa sau de presetupă şi peretele picului prova. La navele autopropulsate mai apar pereţii care limitează compartimentul maşini, astfel:

- la navele cu compartimentul maşini dispus în zona centrală, doi pereţi;
- la navele cu compartimentul maşini dispus în zona pupa, un perete.

În afară de aceşti pereţi obligatorii mai apar în funcţie de lungimea navei şi alţi pereţi suplimentari.

Stabilirea poziţiei pereţilor transversali etanşi are în vedere faptul că la inundarea unui compartiment nava trebuie să rămână într-o poziţie de plutire la limită. Această poziţie limită corespunde liniei de siguranţă.

Linia de siguranţă este paralelă cu LPB şi situată la 76 mm sub aceasta.

Prin inundarea unui compartiment plutirea navei trebuie să fie în cel mai rău caz tangentă la linia de siguranţă, deci să aibă asigurată nescufundabilitatea la limită.

Lungimea compartimentului prin inundarea căruia plutirea navei devine tangentă la linia de siguranţă se numeşte lungime inundabilă limită.